

UNIVERSITAT  
JAUME • I

TRABAJO FIN DE GRADO:

DISEÑO Y DESARROLLO MECÁNICO DE UNA  
PLEGADORA INDUSTRIAL

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales

Autor: Emilio Yeves Marco

Grado en Ingeniería Mecánica

Tutor: Víctor Roda Casanova

Universitat Jaume I

*Quisiera agradecer en primer lugar el trabajo aportado por mi tutor Víctor Roda, ya que en todo momento ha estado ahí aportando sus ideas para ayudarme.*

*En segundo lugar a mi familia y amigos por confiar siempre en mí, a ti Marina por ser tan buena conmigo y apoyarme en todo momento.*

*Finalmente a mi madre porque sin ella nada de esto hubiera sido posible.*

# ÍNDICE

## CONTENIDO

I. Memoria .....	7
1. Objeto.....	7
2. Alcance .....	8
3. Definiciones y Abreviaturas.....	9
4. Antecedentes .....	11
<b>4.1 Plegadoras de accionamiento manuales .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2 Plegadoras de accionamiento no manual .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Otras consideraciones .....</b>	<b>19</b>
<b>4.4 Conclusiones al estudio de antecedentes.....</b>	<b>21</b>
5. Normas y Referencias .....	23
<b>5.1 Disposiciones legales y normas aplicadas .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Programas de cálculo .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3 Bibliografía .....</b>	<b>24</b>
6. Requisitos de Diseño.....	25
7. Análisis de Soluciones .....	26
8. Resultados Finales.....	40
<b>8.1 Bancada .....</b>	<b>41</b>
<b>8.2 Pisador y Sujeciones.....</b>	<b>45</b>
<b>8.3 Trancha .....</b>	<b>49</b>
<b>8.4 Guías y Elementos de Unión .....</b>	<b>51</b>
<b>8.5 Mecanismo Biela-manivela .....</b>	<b>54</b>
<b>8.6 Resumen de elementos .....</b>	<b>59</b>
<b>8.7 Elementos estándares .....</b>	<b>61</b>
8.8 Conclusiones a resultados finales .....	63

II Anexos .....	65
9. Teoría del plegado.....	65
<b>9.1 Cálculos de plegado .....</b>	<b>68</b>
10. Otros elementos de cálculo .....	69
<b>10.1 Cálculo fuerza operario .....</b>	<b>69</b>
<b>10.2 Cálculos de cilindros neumáticos. ....</b>	<b>73</b>
11. Análisis por elementos finitos (FEM).....	75
<b>11.1 Análisis estático pisador y sujeciones .....</b>	<b>77</b>
11.1.1 Elementos.....	78
11.1.2 Conexiones entre elementos.....	78
11.1.3 Restricciones del sistema .....	80
11.1.4 Esfuerzos aplicados.....	83
11.1.5 Mallado y Ejes de coordenadas .....	85
11.1.6 Resultados finales .....	87
<b>11.2 Análisis estático bancada .....</b>	<b>94</b>
11.2.1 Elementos.....	94
11.2.2 Conexiones entre los elementos .....	95
11.2.3 Restricciones del sistema .....	96
11.2.4 Esfuerzos aplicados.....	98
11.2.5 Mallado y ejes de coordenadas.....	100
11.2.6 Resultados finales .....	102
<b>11.3 Análisis estático trancha .....</b>	<b>108</b>
11.3.1 Elementos.....	109
11.3.2 Restricciones del sistema. ....	109
11.3.3 Esfuerzos aplicados.....	110
11.3.4 Mallado y ejes de coordenadas.....	111
11.3.5 Resultados finales. ....	113
<b>11.4 Análisis estático subconjunto biela-manivela.....</b>	<b>116</b>
11.4.1 Elementos.....	116



11.4.2 Restricciones del sistema .....	118
11.4.3 Esfuerzos aplicados .....	119
11.4.4 Mallado y ejes de coordenadas.....	121
11.4.5 Resultados finales .....	122
<b>11.5 Análisis estático no lineal comprobación fuerza plegado.....</b>	<b>126</b>
<b>11.6 Análisis estático pasador .....</b>	<b>130</b>
11.6.1 Elementos, Restricciones y Cargas .....	130
11.6.2 Resultados .....	132
12. Conclusiones.....	134
Índice de ilustraciones .....	136
Índice de tablas .....	141
III. PRESUPUESTO.....	142
IV. PLIEGO DE CONDICIONES.....	145
13. Anexo. Pliego de condiciones.....	145
<b>13.1 Introducción.....</b>	<b>145</b>
<b>13.2 Condiciones generales .....</b>	<b>146</b>
13.2.1. Objeto.....	146
13.2.2. Personal.....	146
13.2.3. Responsabilidades .....	146
13.2.5. Disposiciones legales y de carácter técnico .....	147
13.2.6. Fecha de inicio .....	147
<b>13.3 Cláusulas administrativas.....</b>	<b>147</b>
13.3.1. Documentación .....	147
13.3.1.2. Presupuesto .....	148
<b>13.4 Prescripciones técnicas y particulares .....</b>	<b>149</b>
13.4.1. Especificaciones de elementos empleados en la fabricación y montaje.....	149
13.4.2 Especificaciones de la ejecución .....	150
<b>13.5 Disposiciones finales .....</b>	<b>151</b>
13.5.1 Elementos auxiliares .....	151

13.5.2. Medidas de seguridad.....	152
13.5.3. Tiempo de ejecución .....	152
V. PLANOS.....	153

# I.MEMORIA

## 1. OBJETO

El objetivo de este proyecto es el diseño y desarrollo de una máquina para el doblado de láminas metálicas de distintos espesores con accionamiento manual. La principal novedad que aportará este nuevo diseño de plegadora, es la capacidad de realizar un plegado bidireccional de la lámina, sin necesidad de girar la pieza en cuestión.

Es importante decir que, en el mercado actual no existe ninguna plegadora capaz de realizar este tipo de operación, de forma manual. Debido a esto y para dar una solución acorde a las especificaciones, no existe otro método nada más que el de diseñar por completo una máquina que solucione dicho problema.

Para definir las especificaciones que la plegadora ha de cumplir, se ha tomado como referencia un proyecto que se solicitó a la empresa en la cual el autor de este trabajo realizó las prácticas curriculares del Grado en Ingeniería Mecánica. Todas estas especificaciones se van a ser expuestas en el punto 6.Requisitos de Diseño.

Para realizar este proyecto se ha recurrido a programas informáticos para agilizar la labor de diseño y de cálculo de elementos que componen la máquina. Además se van a usar programas de diseño asistido por ordenador para poder simular los movimientos y acciones de la máquina, así como desarrollar correctamente los planos requeridos para el proyecto.

El proyecto se ha desarrollado para cumplir la normativa vigente respectiva al diseño de máquinas, así como, las normas de seguridad y demás recomendaciones necesarias para cumplir las medidas requeridas por los distintos órganos competentes que las soliciten. De este modo, mediante este proyecto, se va a disponer de una máquina que va a ser incluida en el mercado industrial de toda Europa. También se va a aplicar en el diseño, las leyes y reales decretos actualmente aplicables en España. Todo esto facilita la comercialización en el mercado europeo, además de proteger al trabajador o persona que maneje este tipo de máquina.

Por otro lado se ha diseñado todos los elementos mecánicos para facilitar su fabricación y montaje. De esta manera se pueden reducir los gastos de fabricación de cada una de las partes diseñadas considerablemente. Esto requerirá diseños simples pero eficientes. Además al simplificar los elementos se facilitará indirectamente las labores de mantenimiento y de montaje y desmontaje de los distintos sistemas de la máquina.

## 2. ALCANCE

El alcance de este proyecto es el diseño mecánico de una máquina de accionamiento manual para doblar láminas metálicas.

Por un lado, se ha desarrollado un modelo CAD (computer aided design, diseño asistido por ordenador) de la máquina completa, con la representación de todos los mecanismos que actúan en ella y los distintos montajes de los cuales dispone. Además se ha añadido y descrito todos los elementos estandarizados que se utilicen para el ensamblaje, funcionamiento y desarrollo de la misma.

De otro lado se van a realizar los cálculos resistentes de los elementos más críticos de la plegadora. Estos elementos se han dimensionado de acuerdo a criterios de resistencia y de rigidez, verificados mediante cálculos analíticos y numéricos (análisis resistente por el método de los elementos finitos). De este modo se tendrá presente el punto de vista teórico y el proyecto se podrá relacionar con el ámbito académico.

Otro punto fundamental en este proyecto es la realización de todos los planos de fabricación de las piezas diseñadas, para que sea posible el procesado de las mismas. En estos planos se van a acotar y a describir todos puntos necesarios para poder desarrollar correctamente la pieza o piezas que se diseñen.

También se va a diseñar la máquina para que cumpla todas las normativas referentes al diseño de maquinaria vigentes en el estado español, además de todas las normas europeas.

Este proyecto va a estar situado en el ámbito de la industria del metal principalmente. Va a estar relacionado con este sector en todas las fases del proyecto. Esto es debido a que todos los elementos diseñados se van a adquirir de este sector y de sus respectivas empresas.

También estará situado en el ámbito académico ya que el proyecto que se va a realizar es para la asignatura de trabajo fin de Grado en Ingeniería Mecánica de la Universitat Jaume I y va a estar tutorizado y supervisado en todo momento por un profesor de ésta universidad.

### 3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En este apartado se van a definir todo tipo de palabras que sean necesarias para el buen entendimiento de este proyecto.

- Plegadora: Las prensas plegadoras son máquinas diseñadas especialmente para el plegado de chapas. Estas máquinas efectúan varios tipos de plegado teniendo en cuenta el espesor de la chapa.

Se clasifican dependiendo del tipo de fuerza motriz con la que se produzca el plegado, esta fuerza, puede ser de varios tipos, como mecánica, mediante un volante de inercia, hidráulica, mediante presión de aceite, o una combinación de ambas..

- Trancha: Elemento que se usa para doblar la chapa mediante la presión ejercida por ella misma y apoyada en un elemento llamado pisador.

- Pisador: Elemento que se usa para mantener la chapa inmóvil y en el que apoya la trancha para doblar la chapa. También es el al cual se amarra el punzón y este transmite la fuerza de plegado a la chapa, la cual está apoyada en la matriz

- Punzón: Elemento metálico situado entre el pisador y la chapa. Este contacta con la chapa y ejerce el plegado. Existen distintos punzones, dependiendo del tipo de chapa que se vaya a plegar y del plegado que se quiera conseguir.

- Bancada: Parte de la base de una máquina herramienta que sirve de soporte a las mesas o carros de esta; tiene que ser muy robusta, ya que debe soportar tanto el peso de los elementos propios de la máquina como el de las piezas, así como, los esfuerzos que se generen en las operaciones de plegado.

- Cama: Zona en la cual se apoya la matriz, normalmente suele estar anclada a la bancada o es parte de ella.

- Presión: La presión se define como fuerza por unidad de área. Para describir la influencia sobre el comportamiento de un fluido, usualmente es más conveniente usar la presión que la fuerza. La unidad estándar de presión es el Pascal, el cual es un Newton por metro cuadrado.

- Matriz: Molde metálico con que se da forma a la chapa. Normalmente tienen varias muescas y hendiduras para los diferentes tipos de plegado.

- Control CNC: Un control CNC o control numérico computarizado es un sistema de automatización de máquinas herramientas que son operadas mediante comandos programados. Éstos comandos se basan en un sistema de coordenadas, en el cual nosotros definimos nuestro origen y a partir de ahí le programamos a la máquina virtual las acciones que debe de realizar para conseguir nuestra pieza.

- Encoder: El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos. En el caso que nos atañe asociado a una cremallera.

- Luz o luces: Término utilizado para definir la longitud entre apoyos de las distintas máquinas explicadas en este documento. También se refiere a la distancia total de plegado de las plegadoras.

- Cadencia: Ritmo o modo regular de repetirse u ocurrir una cosa. En nuestro caso *cadencia de plegado* es referido a las veces que se pliega una lámina por minuto.
- Tolerancia: En nuestro caso se puede definir como, máxima diferencia que se tolera entre el valor nominal y al valor real o efectivo en las características físicas y químicas de un material, pieza o producto.

## 4. ANTECEDENTES

En la industria se pueden encontrar varios diseños de plegadoras para chapas de metal, además de un amplio mercado en este apartado técnico. Cada una de estas plegadoras varía según las distintas características del plegado que vayan a realizar, así como el tipo de material, espesor, etc.

A continuación se va a realizar una clasificación de los distintos tipos de plegadoras que existen actualmente en el mercado, que en general se puede realizar dos grandes categorías:

- Plegadoras de accionamiento manual
- Plegadoras de accionamiento no manual

Dentro de cada división se explicarán los distintos subconjuntos que existen.

### 4.1 PLEGADORAS DE ACCIONAMIENTO MANUALES

Dentro de las plegadoras de accionamiento manual se pueden encontrar las de delantal. A continuación se exponen brevemente los distintos tipos.

#### - DE DELANTAL

- Accionamiento de trancha y pisador manual: En la Ilustración 1 se muestra una dobladora manual



Ilustración 1 – Accionamiento de trancha y pisador manual

Este tipo de plegadoras se caracteriza por tener un accionamiento completamente manual. El accionamiento del pisador se realiza, generalmente, mediante un volante el cual está conectado mecánicamente al pisador. Girando en sentido horario o antihorario, podemos subir o bajar el pisador.

Por otro lado, solo posee una trancha, la cual se acciona manualmente mediante una barra soldada. En algunas de ellas y cuando la trancha es muy pesada, disponen de unos contrapesos para compensar el peso de la trancha y que de esta forma el operario solo ejerza la fuerza necesaria para el plegado. En este tipo de plegadoras los ángulos de giro son regulados manualmente por el operario.

Estas plegadoras solo permiten plegar las láminas en un solo sentido, lo que hace que para plegar en el otro sentido, se deba de sacar la plancha a plegar, de su posición actual y cambiarla de posición. Esto acarrea un decremento de la cadencia de plegado, debido a que todo el tiempo que se utiliza para extraer la lámina de su posición y colocarla en su nueva posición, es tiempo que no se emplea para plegar láminas.

Normalmente, estas plegadoras tienen unas características de plegado similares. Todas ellas se ven limitadas por ser manualmente accionadas, ya que la fuerza que pueda ejercer un operario es inferior a la de un accionamiento eléctrico o hidráulico. Habitualmente suelen utilizarse para plegados con espesores pequeños o medianos y para cadencias de plegado bajas.

- Accionamiento de trancha manual y accionamiento de pisador mecánico: En la Ilustración 2 se puede ver otro tipo de plegadoras



Ilustración 2 – Trancha manual y pisador mecánico

Este modelo de plegadoras son muy similares a las que se han expuesto anteriormente, hasta el punto que muchas plegadoras con accionamiento manual de pisador se reconvierten a máquinas de accionamiento mecánico. Esta reconversión, hace que el pisador baje de forma mecánica y esto reduce mucho los esfuerzos que debe de hacer el operario. De esta manera se puede aumentar la cadencia de plegado.



Como las otras, estas máquinas solo ejercen la acción de plegado en un sentido. Esto implica que para plegar en otras direcciones, se deba de sacar la pieza a plegar y ponerla en la dirección deseada.

El movimiento de la trancha se hace manualmente. Esta trancha dispone de unos contrapesos para contrarrestar el peso de la trancha y que el operario ejerza la fuerza necesaria de plegado.

- Accionamiento de trancha manual y pisador electromagnético: En la Ilustración 3 se muestra una plegadora con pisador electromagnético



Ilustración 3 – Plegadora manual con pisador electromagnético

Estas plegadoras usan un imán electromagnético para accionar el pisador. El operario dispone de un botón el cual acciona cuando necesita que el pisador ejerza fuerza. Al ser un campo electromagnético uniforme, la presión que se ejerce sobre la chapa es también uniforme, de esta manera se genera una presión suficiente para que la chapa no se levante.

El accionamiento del delantal es manual limitando de este modo los espesores a doblar, ya que la única fuerza disponible será la que pueda ejercer el operario.

Además este tipo de plegadoras permiten doblar chapas de luces similares a las anteriores, pero con unas secciones de trancha mucho más esbeltas. Esto es debido a que en lugar de estar biapoyada en los extremos, dispone de varias bisagras, mostradas en la Ilustración 4, repartidas por toda la trancha.



**Ilustración 4 –Bisagras que permiten unas mayores luces de plegado**

Para esta disposición solo se puede ejercer la acción de plegado en una dirección, con lo que si se desea plegar en otra dirección, se deberá abrir el pisador y cambiar la chapa a la posición deseada.

## **4.2 PLEGADORAS DE ACCIONAMIENTO NO MANUAL**

En este apartado se va a mostrar las plegadoras de distintos tipos, pero siempre con accionamiento no manual.

### **- DE DELANTAL**

- Accionamiento de trancha y pisador mecánico: En la Ilustración 5 se muestra una plegadora accionada automáticamente



**Ilustración 5 – Plegadora de delantal accionada automáticamente**

Este tipo de plegadoras disponen de motores y elementos mecánicos para el movimiento de la trancha y del pisador.

Habitualmente para el movimiento del pisador usan mecanismos como el de tuerca-husillo accionados por un motor eléctrico. Al tener motores eléctricos, cabe la posibilidad de ajustar el movimiento de ascenso y descenso del pisador, así como la velocidad del pisador y la fuerza que ejerce sobre la chapa.

El giro de la trancha también es accionado por un motor eléctrico junto con un reductor. Esto permite regular los ángulos de giro de plegado, además también existe la posibilidad de programar varios plegados consecutivos con lo que la cadencia de plegado aumenta considerablemente.

Las luces que son capaces de plegar están directamente unidas a las dimensiones de todos los elementos. Cuanto mayor sea la luz, mayor será las dimensiones y tamaños de los elementos que componen la máquina. A lo que da como resultado máquinas de gran peso y gran rigidez pero, de gran precisión.

### - PRENSA PLEGADORA

- Plegadoras mecánicas: En la Ilustración 6 se muestra una prensa plegadora



Ilustración 6 – Prensas plegadoras

Las plegadoras mecánicas introducen un volante de inercia en la parte superior el cual produce la energía necesaria para poner en marcha el pisador o punzón. Este pisador está conectado con el volante de inercia. Cuando este está desacoplado va acumulando inercia la cual al acoplarse genera la energía necesaria para bajar el pisador y doblar la chapa.

Este tipo de plegadoras se usan ampliamente, pero suponen un riesgo elevado para el operario, debido a que si no se permite la carrea completa de la máquina, esta podría descender hacia la cama antes de que el mecanismo de embrague vuelva a acoplarse, atrapando las manos del operario, utillaje o la chapa metálica.

La capacidad de plegado en este tipo de máquinas es muy elevada, debido a las grandes inercias generadas por los volantes. Esto implica estructuras muy robustas y rígidas. Por el contrario una mala regulación de la carrera podrá generar plegados insuficientes o accidentes laborales, con lo que son altamente peligrosas.

Una de las limitaciones de este modelo es que solo permite el plegado en una dirección y para plegar en otra dirección, hay que extraer la chapa la cual se está plegando, y posicionarla de nuevo.

- Plegadoras hidro-mecánicas: En la Ilustración 7 se muestra una plegadora hidro-mecánica



**Ilustración 7 – Prensa plegadora hidro-mecánica**

De diseño muy similar a las mecánicas, simplemente este tipo cambia el volante de inercia por una bomba hidráulica. Esta bomba genera la inercia necesaria para accionar el punzón, mediante la presión hidráulica se acciona un motor que a su vez acciona un eje excéntrico, el cual genera el movimiento ascendente y descendente del pisador. Este movimiento es el que ejerce el plegado de la chapa.

De otro modo, este tipo de plegadoras convierten la energía hidráulica en energía mecánica.

La ventaja de este modelo frente a las completamente mecánicas es que no necesitan completar una carrera completa para alcanzar el tonelaje necesario, sino que este puede lograrse en cualquier punto de la carrera.

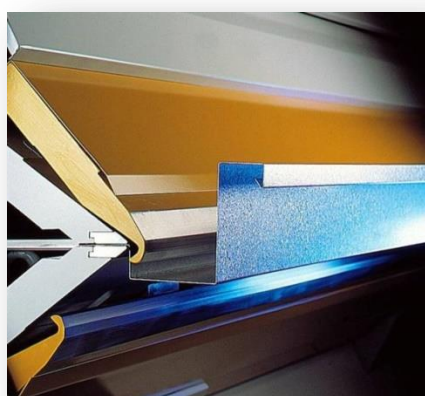
Por este detalle, este tipo de máquinas son mucho más seguras que las completamente mecánicas. Además presentan una mejora en la capacidad y el funcionamiento, llegando a alcanzar tonelajes muy elevados mediante un efecto de palanca.

Esta alta capacidad de tonelaje hace que este tipo de plegadoras se usen para chapas de un espesor elevado.

Como antes, solo pueden plegar por un lado y hacia un sentido, debido a ello para plegar en otra dirección se deberá extraer la chapa de la cama y posicionarla de la forma deseada.

Respecto a la seguridad, estas son mucho más seguras, ya que el tonelaje necesario se genera en cualquier punto del recorrido. De este modo, no correremos con el riesgo de que el pisador pueda precipitarse hacia la cama antes de generar la presión necesaria.

- Plegadora automática positivo-negativo: En la Ilustración 8 se muestra una plegadora automática positivo-negativo



**Ilustración 8 - Plegadora automática positivo-negativo**

Este tipo de plegadoras son totalmente automáticas. Estas disponen de un control CNC, puedes definir los tipos de plegado que quieres realizar, el espesor de la chapa y los parámetros necesarios para el plegado requerido.



Una vez definidos todos los parámetros la plegadora funciona automáticamente ejecutando las operaciones.

Este tipo de plegadoras son muy avanzadas tecnológicamente, lo que incluye un elevado precio y una preparación elevada por el operario que las usa.

Este tipo de plegadoras suele tener una cadencia elevada de trabajo, pero sólo si el operario que las maneja está altamente cualificado para manejarlas.

En ella se pueden plegar chapas de gran longitud debido a su gran robustez, lo que suele estar acompañado por un gran peso.

- Plegadoras Hidráulicas: En la Ilustración 9 muestra una plegadora de accionamiento completamente hidráulico



Ilustración 9 – Plegadora Hidráulica

Se podría decir que actualmente este tipo de plegadoras son las más extendidas en todo el mercado. Esto viene dado a su gran capacidad y precisión. Todo el sistema está impulsado por una bomba hidráulica, la cual genera presión en los cilindros hidráulicos. Estos cilindros empujan el pisador el cual genera el plegado. Este sistema tiene gran precisión y velocidad, aumentando mucho la cadencia de plegado.

Este tipo se diferencia de las hidra-mecánicas y de las mecánicas, en que estas incorporan un movimiento ascendente. Este diseño minimiza los efectos de pérdida de repetitividad del pistón, derivados del uso normal y desgaste de la máquina.

Una gran parte de estas plegadoras, están gobernadas por un sistema CNC. De este modo, permiten un ajuste, reglaje y gestión del plegado mucho más preciso que las que no lo tienen. También se pueden programar distintos plegados seguidos para aumentar considerablemente la cadencia de plegado.

De nuevo este tipo de plegadoras solo ejerce el plegado en una dirección, lo que nos lleva a tener que retirar la chapa de la cama para ejercer el plegado en otra dirección. Esto es limitante en algún tipo de plegado.

Este tipo de plegadoras también se pueden montar en tándem como se puede ver en la Ilustración 10



**Ilustración 10 - Plegadoras en tándem**

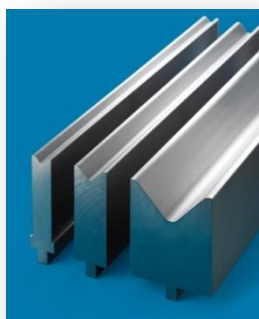
De esta manera se pueden plegar chapas el doble de largas. Este plegado es posible debido a la precisión de ambas plegadoras. Aunque sean dos plegadoras distintas, al ser tan precisas, se pueden parametrizar el plegado en ambas, para que sea igual.

Esta compleja disposición se usa habitualmente en plegados específicos y con plegadoras de alta precisión.

### 4.3 OTRAS CONSIDERACIONES

En este apartado se van a explicar ciertas consideraciones para el mejor entendimiento de las distintas máquinas analizadas en el apartado 4 Antecedentes.

Todas estas plegadoras disponen de una matriz mostrada en la Ilustración 11. Esta matriz está apoyada en la bancada y amarrada a esta parte de la prensa.



**Ilustración 11 – Matrices para el plegado**

Estas matrices pueden tener infinitas formas, ya que se pueden mecanizar según qué tipo de plegado se desee. Este elemento es muy importante a la hora de realizar este tipo de operación, ya que dependiendo de la forma que tenga, el plegado que se podrá realizar será de un modo u otro. A continuación se explican los distintos tipos de plegados.

Según la matriz que usemos se podrá plegar de dos formas:

- **Plegado al aire:** Generalmente utilizado en chapas de espesores superiores a 2mm. Este plegado se caracteriza por que el punzón no lleva la chapa hasta el fondo de la matriz dejando un ángulo de plegado, donde se puede ver en la Ilustración 12.

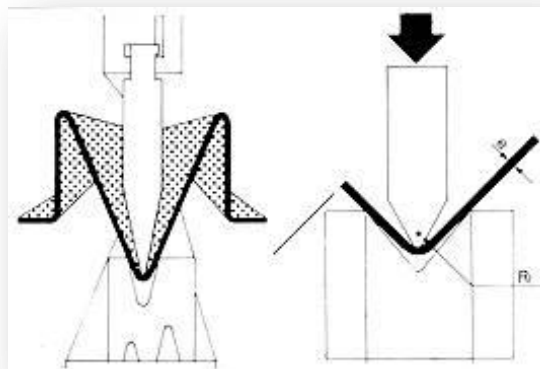


Ilustración 12 – Muestra de plegado al aire

- **Plegado a fondo:** Se utiliza con chapas de espesor inferiores a 2mm. En este el punzón o pisador lleva a la chapa hasta el fondo de la matriz, acción mostrada en la Ilustración 13.

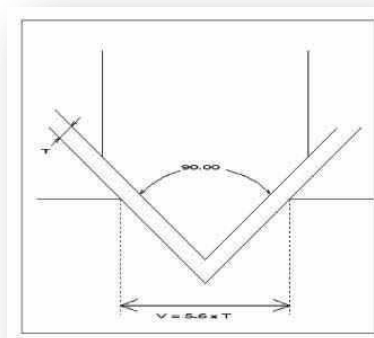


Ilustración 13 – Boceto descriptivo del plegado a fondo



#### 4.4 CONCLUSIONES AL ESTUDIO DE ANTECEDENTES

Después de repasar el amplio mercado que existe hoy en día en el mundo de las plegadoras, es posible llegar a la conclusión que no existe actualmente una máquina que cumpla con todos los requisitos de este proyecto

Sí que es verdad que algunas podrían cumplir algunas de las características, pero ninguna las podría cumplir todas. Debido a esto, se puede concluir que para conseguir una que cumpla todas las especificaciones, se deberá diseñar por completo la nueva plegadora.

En la Tabla 1 resumen, es posible observar a grosso-modo las características de las distintas plegadoras que se han mostrado en el apartado 4 Antecedentes. Además, y a modo de comparativa ha sido añadida una fila extra en la cual se muestra las características de la plegadora la cual atañe a este proyecto. De este modo se puede comprobar a simple vista la necesidad de un nuevo diseño de plegadora para cumplir los requisitos de diseño de este proyecto.

**Tabla 1 - Comparativa general**

	Accionamiento de trancha	Accionamiento de pisador	Dirección de plegado	Precisión	Coste	Peso	Espesores de plegado	Cadencia
<b>Plegadoras manuales</b>								
<b>De delantal</b>								
<b>Trancha manual y pisador manual</b>	Manual	Manual	Unidireccional	Baja	Bajo	Bajo	0,5mm-3mm	Baja
<b>Trancha manual pisador mecánico</b>	Manual	Mecánico	Unidireccional	Baja	Medio-Bajo	Bajo	0,5mm-3mm	Baja
<b>Trancha manual pisador electromagnético</b>	Manual	Electromagnético	Unidireccional	Baja	Bajo	Muy Bajo	0,5mm-3mm	Baja
<b>Plegadoras no manuales</b>								
<b>De delantal</b>	Mecánico-Eléctrico	Mecánico	Unidireccional	Media-Alta	Medio-Alto	Medio	0,5mm-5mm	Media
<b>Prensa plegadora</b>								
<b>Mecánicas</b>	-	Mecánico	Unidireccional	Media-Alta	Medio	Alto	1mm-Dependiente del tonelaje	Media
<b>Hidro-mecánicas</b>	-	Hidráulico-mecánico	Unidireccional	Alta	Medio-Alto	Alto	1mm-Dependiente de presión de funcionamiento	Media-Alta
<b>Hidráulicas</b>	-	Hidráulico	Unidireccional	Alta-Muy alta	Alto	Medio-Alto	1mm-Dependiente de presión de funcionamiento	Media-Alta
<b>Automáticas positivo-negativo</b>	Mecánico	Mecánico	Bidireccional	Muy alta	Muy alto	Medio-Alto	0,5mm-1,5mm	Muy Alta

<i><b>PLEGADORA BIDIRECCIONAL MANUAL</b></i>	<i>MANUAL</i>	<i>MANUAL</i>	<i>BIDIRECCIONAL</i>	<i>BAJA</i>	<i>BAJO</i>	<i>MEDIO- BAJO</i>	<i>0.5mm-1,5mm</i>	<i>ALTA</i>
--	---------------	---------------	----------------------	-------------	-------------	------------------------	--------------------	-------------

Como se puede observar, los requisitos que cumple la plegadora bidireccional manual, la cual es objeto este proyecto, los cuales están expuestos en el apartado 6 Requisitos de Diseño, son todos los requisitos anotados en dicho punto.

## 5. NORMAS Y REFERENCIAS

En este apartado se va a hablar sobre las normas legales que son aplicadas en este proyecto académico.

### 5.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

El siguiente proyecto, se va a hacer uso de la norma UNE 157001\_2014, para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

También se va a aplicar el REAL DECRETO 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE nº 188 07-08-1997.

Además para la elaboración de este proyecto, se va a tener en cuenta la directiva de máquinas explicada en Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Con la elaboración de la Directiva de Máquinas se pretende asegurar la seguridad y la salud de los trabajadores delante de riesgos derivados de la utilización de las máquinas. La directiva de máquinas integra la seguridad en las fases de diseño y fabricación y en las fases de la instalación y mantenimiento. Esta directiva pero, tendrá que completarse en cada caso con las disposiciones legales específicas sobre prevención de riesgos laborales que puedan afectar a los trabajadores durante su trabajo.

Por conseguir una unificación de criterios se creó la Directiva de Máquinas (89/392/CEE) que en el transcurso de los años ha sido modificada en varias (Directivas 91/368/CC ,93/4/CEE y 93/68/CE). La Directiva de Máquinas (98/37/CE) que pretende agrupar el contenido de las directivas sobre máquinas anteriores ha sido modificada por la 98/79/CE.

Las directivas europeas son recomendaciones dirigidas a los estados miembros los cuales tienen un plazo determinado por incorporarlas a sus legislaciones nacionales. En este momento se dirigen a los ciudadanos y se convierten en documentos de obligado cumplimiento.

La Directiva de Máquinas tiene por objetivo que cualquiera máquina nueva comercializada en el territorio de la unión europea tenga que traer el logotipo del marcaje CE, que implica:

- La seguridad de la máquina mediante el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad citados en la directiva.
- La garantía de la libre circulación de la máquina dentro del mercado interior de la unión europea.
- Y que los estados miembros no podrán prohibir, restringir o impedir la puesta en el mercado y la instalación en su territorio de todas aquellas máquinas que cumplan con los requisitos marcados por la directiva. España ha incorporado la directiva 89/392/CEE y sus modificaciones al ordenamiento jurídico nacional mediante el Real Decreto 1435/1992 (BOE nº 297. 11-12-1992) y el Real Decreto 56/1995 (BOE nº33. 08-02- 1995).

## 5.2 PROGRAMAS DE CÁLCULO

En este proyecto se va a hacer uso de distintos programas de cálculo, así como de diseño en 3D.

Para el cálculo se va a usar el programa Excel de Microsoft.

Para el diseño de la máquina se ha utilizado SolidWorks 2016 (Dassault Systems) para el diseño tridimensional y AutoCAD 2016 (Autodesk) para el diseño bidimensional. También se ha utilizado la herramienta informática SolidWorks Simulation 2016 (Dassault Systems) para realizar los estudios estáticos, tanto lineales como no lineales.

## 5.3 BIBLIOGRAFÍA

- Arag, C. (n.d.). CEOE Aragn - Confederacin de Empresarios de Aragn. Retrieved October 18, 2016, from <http://www.ceoearagon.es/>
- E. (n.d.). Inicio. Retrieved October 18, 2016, from <http://www.demaquinasyherramientas.com/>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (n.d.). Retrieved October 18, 2016, from <http://www.insht.es/>
- Agencia Estatal Boletn Oficial del Estado. (n.d.). Retrieved October 18, 2016, from <https://www.boe.es/>
- Index. (n.d.). Retrieved October 18, 2016, from <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon>
- — OCW - UC3M. (n.d.). Retrieved november 02, 2016, from <http://ocw.uc3m.es/>
- "Inicio." *SolidWorks*. N.p., n.d. Web. 10 Jan. 2016/
- "RUA: Principal." *RUA: Principal*. N.p., n.d. Web. Feb. & march 2017.

## 6. REQUISITOS DE DISEÑO

En este apartado se van a mencionar todas las características esenciales o requisitos de diseño de los cuales va a disponer la máquina de este proyecto.

Como se ha explicado anteriormente, este proyecto surge para solucionar un problema real. Para solucionar dicho problema se tiene que solventar una serie de parámetros y requisitos de diseño esenciales.

Por eso mismo, se ha diseñado la plegadora en base a estas características, además se van a considerar algunas más como método de mejora del diseño final.

Las características heredadas del cliente son las siguientes:

- La plegadora resultante debe de ser capaz de doblar chapas de hasta 1.5 mm de espesor, y de una anchura comprendida dentro de un rango de 100mm hasta 2000mm

- Que la máquina en cuestión sea lo más esbelta y ligera posible, además de poderse desmontar con facilidad.

- La máquina debe de ofrecer la posibilidad de gestionar los mecanismos del pisado de la chapa y del plegado de la chapa de forma totalmente manual

- La máquina debe de ser capaz de ejercer el plegado en ambos sentidos sin tener que extraer la chapa metálica de la zona de plegado.

- El diseño resultante debe de tener un coste de fabricación menor a 10000 €

Hasta aquí se pueden observar las características propuestas inicialmente.

Una vez descritos estos puntos esenciales para nuestro diseño, podemos continuar con los elementos que se van a añadir para mejorar el diseño definitivo.

Las mejoras que se propone para el diseño final se describen a continuación:

- Se impone un criterio de rigidez que consiste en que la deformación máxima en el centro del pisador debe de ser menor de 0,25mm, en cualquiera de sus tres ejes

- El diseño resultante debe de ser simple, tanto en el diseño, como, en los mecanismos de movimiento de la máquina.

- Peso menor de 3000Kg.

- Utilización de los máximos elementos estandarizados y de uso comercial para una reducción en el coste total del montaje de la máquina y su fabricación.

- Posibilidad de que la máquina en cuestión funcione a la perfección sin nivelación del terreno previa

- Capacidad de apertura del pisador como mínimo 120mm, para facilitar las labores de plegado.

Una vez planteadas estas premisas, se hace un sondeo en el mercado relacionado con éste tipo de máquinas, las cuales se pueden observar en el apartado 4 Antecedentes, en el cual se estudian todos los tipos de plegadora y sus variantes, llegando a la conclusión de que no existe máquina, actualmente, que cumpla todos los puntos requeridos por estos requisitos.

## 7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En el siguiente apartado se va a describir el procedimiento que se ha seguido para elaborar la parte técnica de este proyecto, así como el diseño de todos los elementos. Se va a describir y comentar las decisiones de compromiso que se han tomado durante el proceso de diseño de la plegadora, además de explicar todas las variantes que ha ido tomando la máquina, hasta llegar a la solución final.

En la Ilustración 14, se muestra el diseño conceptual de la máquina plegadora desarrollada en el cual se muestra una plegadora biapoyada en ambos extremos sobre dos columnas, las cuales sujetan el pisador superior y ambas tranchas.

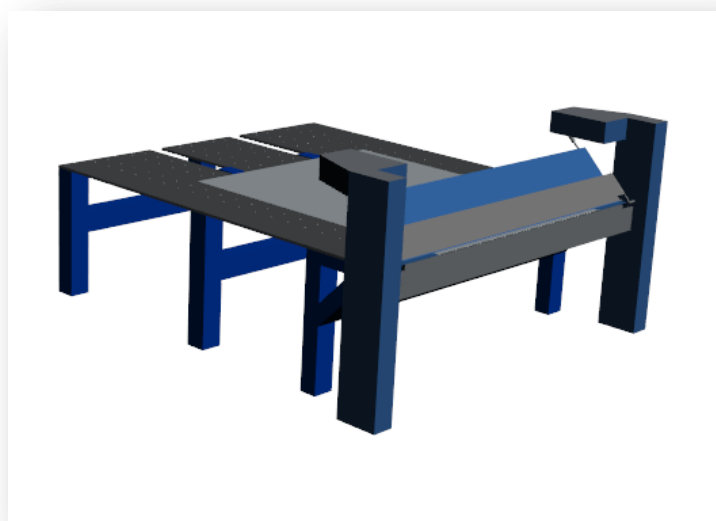


Ilustración 14 – Imagen del diseño conceptual de la máquina

En este diseño el pisador está accionado por dos cilindros neumáticos, que ejercen la fuerza necesaria para que la chapa no se mueva cuando las tranchas ejercen la acción de plegado. Por otra parte los movimientos de ambas tranchas se realizan manualmente mediante la fuerza de dos operarios.

En este diseño conceptual también dispone de una mesa soldada a la parte posterior de la plegadora, la que se utiliza para sostener las chapas que se van a introducir en la máquina. Estas chapas se desplazan hacia delante mediante un motor con una cremallera y un electroimán. Este electroimán sujeta la plancha y junto con el motor eléctrico y la transmisión mecánica la desplazan a la posición marcada por el sistema que gestiona el encoder.

Sin embargo, en esta composición general se puede encontrar varios aspectos que no cumplen los requisitos de diseño, lo cuales se pueden apreciar en el apartado 6 Requisitos de Diseño.

Como primer obstáculo se puede apreciar la complejidad en los distintos sistemas de movimiento de la máquina. El hecho de que se disponga de un encoder, va unido a la necesidad de que se disponga también de un control numérico el cual se deberá programar, con la complejidad que esto conlleva.

Por otro lado, al no disponer de ningún motor para el movimiento de giro de las tranchas, estas deberán ser accionadas manualmente por los operarios. Al estar biapoyadas, las tranchas serán muy pesadas, debido a que para aguantar la fuerza de plegado serán más robustas, esto puede llegar a ocasionar daños personales a los operarios que realicen esta acción.

Otro de los problemas principales que se puede observar, es el gran volumen de la máquina.

En los sistemas biapoyados con grandes luces, para evitar grandes flechas en centro de la trancha, el momento de inercia de la sección transversal de los elementos estructurales, suele ser muy elevado, esto está relacionado con la deformación por flexión, lo que implica normalmente elevado peso. Si a todo esto se le añade el gran volumen de la máquina, y la cantidad de elementos mecánicos que requiere, se ve incumplido el requisito de que la plegadora sea lo más esbelta posible. Incumpliendo de esta manera uno de los requisitos principales del proyecto.

Por otro lado, que el movimiento del pisador se accione neumáticamente genera un punto negativo a la hora de que sea seleccionado este diseño, como diseño a desarrollar.

Partiendo de este prediseño inicial se fueron desarrollando diferentes alternativas posibles para poder solucionar los distintos problemas que se presentan.

Estas alternativas, se han diferenciado en diferentes subsistemas los cuales se van a comentar a continuación.

El primer subsistema mostrado en la Ilustración 15, estaba dispuesto por un motor en cada columna para producir el movimiento de giro de la trancha. De esta manera, mediante el motor eléctrico se puede realizar el giro en ambos sentidos para generar el plegado bidireccional. Por otro lado, también dispone de motores con husillos en la parte superior de las columnas laterales de las columnas que sustentan la trancha. Este mecanismo, genera el movimiento de elevación de la trancha para poder desplazarla hasta la posición correcta.

Este diseño fue descartado debido a la elevada complejidad de los sistemas de movimiento. Por otro lado el hecho de ser un elemento biapoyado y de gran longitud, complica la tarea de conseguir una máquina lo más esbelta posible. Esto es debido a que para soportar la fuerza de plegado, a mayor distancia entre apoyos, las tranchas tienden a ser más robustas y pesadas. Este impedimento descarta este diseño por completo y de los siguientes bocetos. Cómo se va a explicar a continuación.

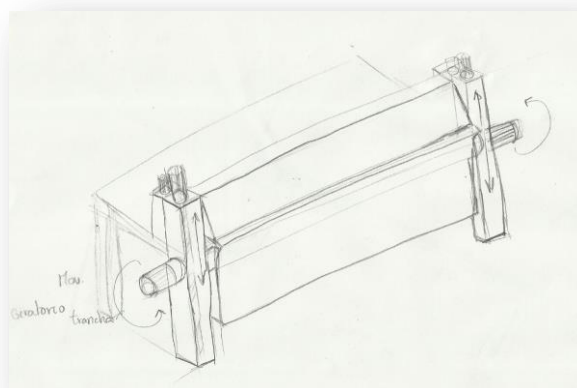
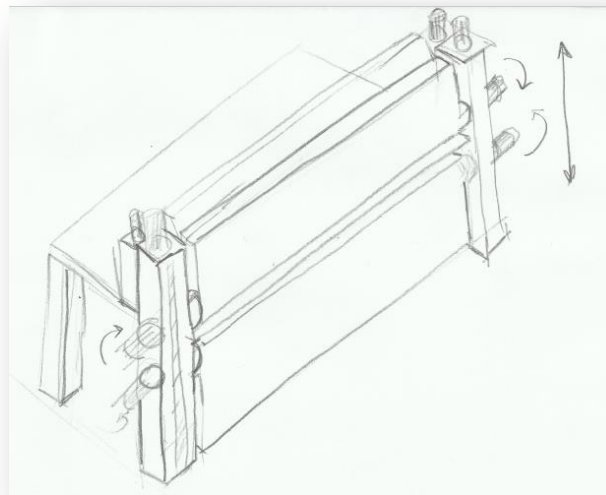


Ilustración 15 - Boceto primer subsistema

El segundo subsistema, está compuesto por dos tranchas independientes. Estas tranchas disponen de dos motores cada una, de manera que se pueden generar giros a ambos lados. Para evitar el choque entre las tranchas, dispone de un husillo solidario, que al mismo tiempo que eleva una de ellas, hace descender la otra, de esta manera se evita el choque entre ambas.

Como se puede observar en la Ilustración 16, este subsistema se descartó por la complicidad de los movimientos y por las excesivas secciones que se necesitaba para poder conseguir la rigidez necesaria de los elementos. Además, la complejidad mecánica es aún más elevada que el subsistema 1.



**Ilustración 16 - Boceto subsistema 2**

El tercer subsistema, el cual se observa en la Ilustración 17, es una combinación de ambos subsistemas. Éste dispone de una trancha biapoyada con un par de motores, que generan el movimiento para generar la acción de plegado. Para generar el movimiento de elevación y descenso de la trancha, dispone de dos husillos a cada lado. Estos husillos, están gobernados por dos motores, sincronizados eléctricamente. De esta manera el movimiento generado es continuo y constante.

En este subsistema se puede observar los mismos defectos que en los anteriores. Elementos biapoyados de gran distancia entre apoyos, con grandes inercias y elevados pesos. Por otro lado, la clara complejidad de movimientos. Lo cual choca directamente con el requisito de sencillez y esbeltez de elementos. Además también incumple la premisa de generar los movimientos manualmente.



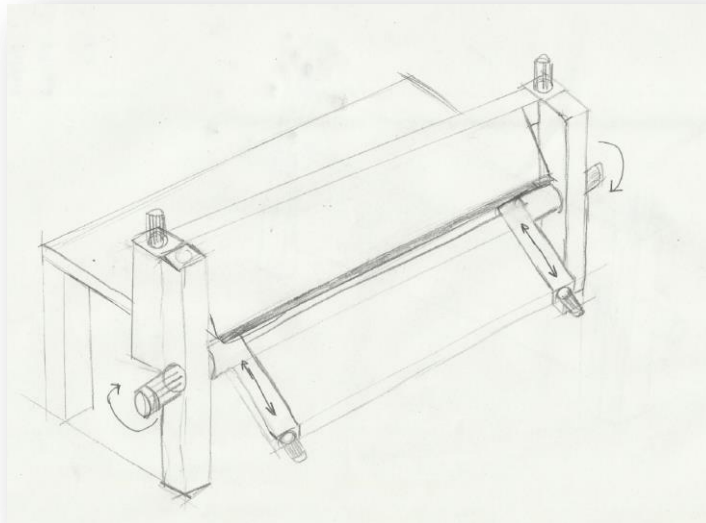


Ilustración 17 - Boceto subsistema 3

Una vez planteados todos estos tipos de plegadora, se llegó a la conclusión de que la longitud de plegado era demasiada, lo que llevaba a la necesidad de incluir en el diseño elementos estructurales demasiado pesados y elementos mecánicos muy robustos. Además se añadía la complejidad de movimientos, tanto del giro para el plegado como de elevación y descenso de la trancha.

Partiendo de ahí, e investigando una forma distinta de constituir la plegadora, se encontró en el mercado un sistema de bisagras especiales la cual se muestra en la Ilustración 18.

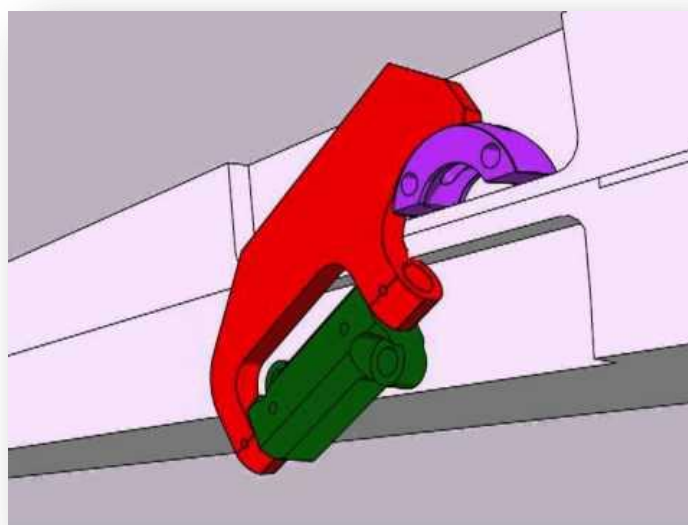


Ilustración 18 - Bisagra

Estas bisagras permiten la posibilidad de reducir considerablemente la distancia entre apoyos, debido a que su forma constructiva y su funcionamiento lo permiten.. De esta manera se puede limitar la distribución de esfuerzos que se van a generar en la trancha, así como, permite diseñar tranchas mucho más esbeltas y de menos peso. Con este tipo de bisagras se soluciona el problema de disponer de un elemento muy robusto y pesado el cual es sustentado de forma biapoyada, dando lugar a elementos mucho más esbelto y de menos peso, con apoyos repartidos a lo largo de toda su longitud.

Mediante este sistema también se ve solucionado el problema del accionamiento manual de las tranchas ya que consigue que se pueda realizar la acción de plegado manualmente, usando simplemente la fuerza de dos operarios.

El funcionamiento de este tipo de bisagras consiste en que disponen de dos ejes de giro, como se puede mostrar en la Ilustración 19. Al disponer de dos ejes de giro la bisagra se puede insertar internamente entre los elementos que vayan a realizar el giro, sin ocupar espacio en el eje de giro de los elementos.

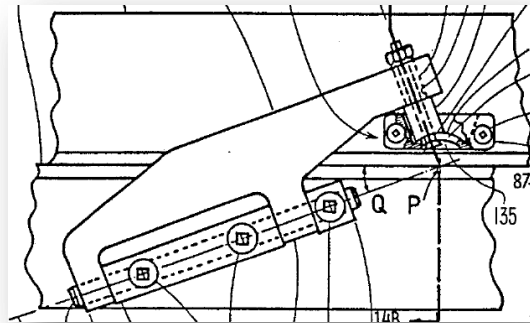


Ilustración 19 - Detalle ejes de giro

Este movimiento, no se podría realizar con una bisagra convencional, porque estas necesitan un espacio para situar su propio eje de giro. En la Ilustración 20, se puede observar como la posición del eje de giro en la bisagra convencional, limita este tipo de bisagras para su utilización en estos tipos de movimientos.

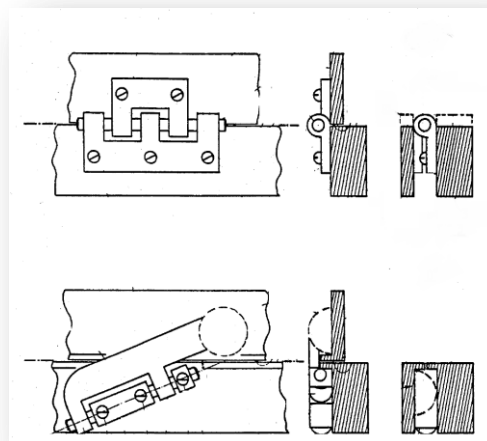


Ilustración 20 - Comparativa ejes de giro

Además, este tipo de bisagras están totalmente estandarizadas, por lo que es posible adquirirlas en el mercado.

Una vez seleccionadas este tipo de bisagras, se dispuso a realizar el diseño de la máquina y de los distintos elementos.

Todos estos elementos han sido predimensionados, partiendo de la hipótesis de fuerza en el plegado al aire. Esta fórmula es utilizada para plegados de éste tipo, explicados en punto 4.3 Otras consideraciones.

En este prediseño inicial se han tomado en cuenta los distintos requisitos de diseño apuntados en el punto 6. Requisitos de Diseño. El resultado final de este primer prediseño, se puede observar en la Ilustración 21 - Imagen general prediseño, de esta manera se puede observar los elementos que se van a explicar a continuación.

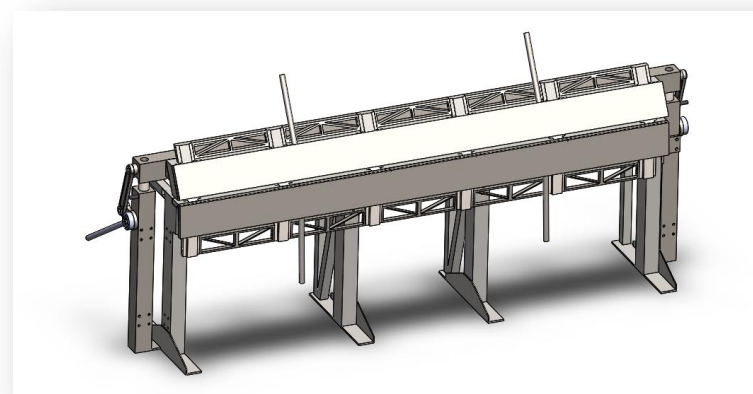


Ilustración 21 - Imagen general prediseño

Para continuar con la explicación de los elementos, una vez subsanado el problema de la longitud excesiva de las tranchas biapoyadas, el siguiente punto a definir era la posibilidad del plegado por ambas partes sin necesidad de usar elementos y movimientos muy complicados, tanto mecánicamente como en elementos.

Para solucionar este problema se ha dispuesto de unas guías lineales situadas en toda la longitud de la bancada y el pisador. Estas guías van a facilitar el movimiento de ascenso y descenso de ambas tranchas. Además de repartir los esfuerzos por ambos elementos.

Las guías, parten de un macizo de metal el cual se mecaniza y después se rectifica, para conseguir un contacto muy elevado entre la guía y la ranura

Las guías se disponen entre sí de forma solidaria, unidas mediante una pieza atornillada entre las distintas guías. Esta pieza permite que el movimiento de ascenso y descenso pueda ser regulado mediante cilindros neumáticos. Con este sistema es posible el plegado bidireccional, sin necesidad de retirar la chapa a doblar.

En dichas guías se situarán las bisagras, las cuales unidas a ambas tranchas, desplazarán todo el conjunto hacia arriba o hacia abajo, según la acción de plegado que se vaya a realizar.

Por otro lado, otro punto de diseño, está localizado en el mecanismo que ha de levantar el pisador para que la chapa pueda ser doblada.

La solución consiste en un mecanismo biela manivela. Este mecanismo tiene su principal apoyo en un perfil cuadrado atornillado a la bancada principal de la máquina.

El funcionamiento de este mecanismo en esta máquina en concreto es el siguiente. Cuando la biela está en el punto muerto superior, abre el pisador lo suficiente para que la chapa pueda introducirse entre el pisador y la bancada principal. Cuando baja al punto muerto inferior, presiona la chapa generando la presión necesaria para aguantar la fuerza de plegado generada por la trancha al doblar la chapa.

Se dispone de un mecanismo en cada extremo de la bancada para que los esfuerzos se repartan y poder sujetar el pisador. De este modo es posible realizar el movimiento de la forma más uniforme posible.

Para que el pisador siga una dirección en línea recta, se dispone de dos cilindros guía. Estos, dirigen de forma rectilínea el movimiento del mecanismo biela-manivela. Además estos cilindros, disponen de dos pasadores para fijar la posición del pisador en el sitio correcto. Estos pasadores aseguran que se va a limitar cualquier movimiento indeseado y consiguen que el plegado salga completamente uniforme.

Con este mecanismo es posible realizar el levantamiento del pisador manualmente, con la fuerza de dos operarios. Los cálculos se pueden observar en el punto 10.1 Cálculo fuerza operario.

Todos estos elementos explicados anteriormente son sustentados por la bancada principal. Esta bancada principal está formada por un elemento macizo, en el cual se mecanizarán las ranuras para las guías y el rebaje para el posicionamiento de la punta endurecida. Éste macizo se sustentará mediante unos perfiles cuadrados soldados a sí mismo los cuales formarán las patas del conjunto. Por la parte trasera del refuerzo se disponen unos perfiles cuadrados soldados entre sí para aumentar la resistencia del conjunto y como apoyo para la plancha a plegar.

Unido a esta bancada se disponen de dos perfiles, colocados uno a cada extremo del macizo para sustentar el apoyo del mecanismo biela-manivela. Éste perfil va unido mediante dos pletinas en forma de 'L' las cuales se unen mediante una unión atornillada a ambos extremos. En la Ilustración 22 se puede observar los distintos elementos nombrados anteriormente y su disposición.

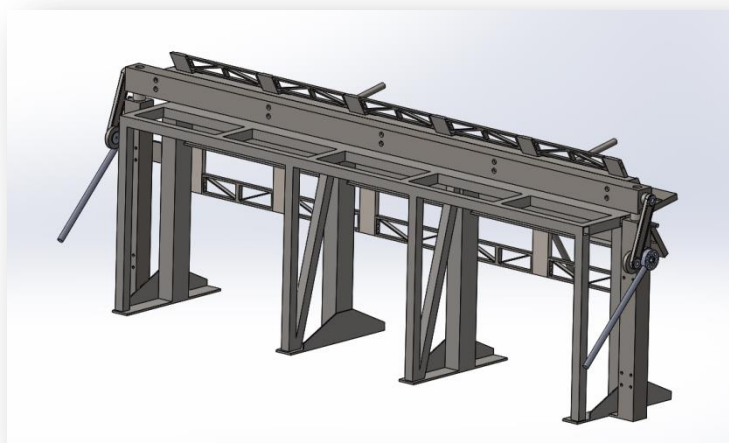
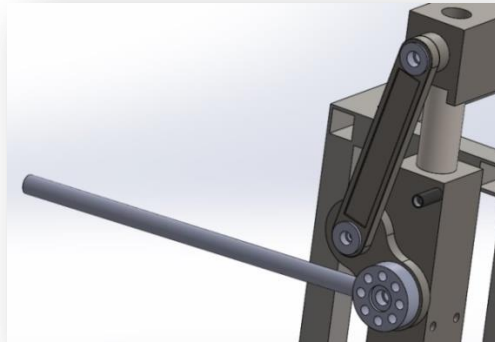


Ilustración 22 - Vista trasera máquina

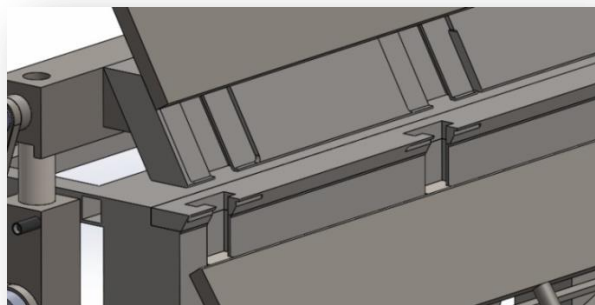
En las siguientes ilustraciones, se va a mostrar con más detalle los distintos elementos

En la Ilustración 23 se puede observar el mecanismo biela-manivela y cilindro guía.



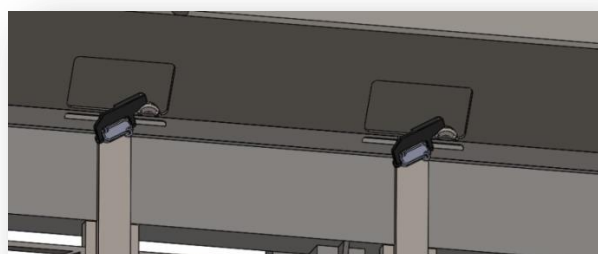
**Ilustración 23 - Detalle biela-manivela y cilindro guía**

Aquí en la Ilustración 24 se observa el pisador superior y las distintas ranuras para las guías.



**Ilustración 24 - Pisador junto con ranuras**

En la Ilustración 25 se muestra las bisagras y las guías de la parte inferior de la trancha.



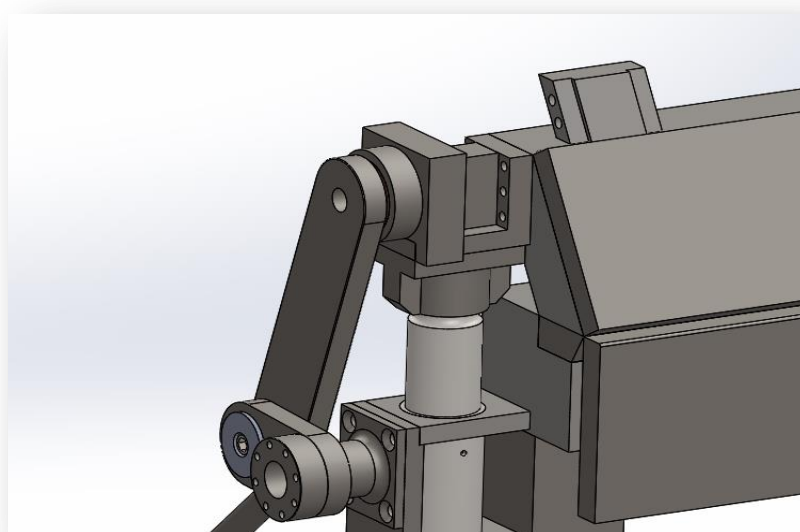
**Ilustración 25 - Detalle bisagras y guías**

Tras la muestra de estas ilustraciones, se puede resumir que el prediseño conceptual, cumple con todos los requisitos mencionados en el punto 6 Requisitos de Diseño.

No obstante, durante el proceso de diseño, se pudo observar que en algunos elementos de la máquina existía la posibilidad de mejorar su diseño. Por eso fue llevado a cabo un rediseño de algunos elementos. Este rediseño se ha basado principalmente en la premisa de simplificar la fabricación de todos los elementos y la facilidad para montar y desmontar la máquina en cualquier lugar y de forma sencilla.

A continuación se va a describir las distintas modificaciones realizadas en la máquina, y a explicar los cambios realizados en las distintas partes.

En primer lugar uno de los cambios realizados es el mostrado en la Ilustración 26, en esta ilustración se puede diferenciar que la unión entre el pisador y el cilindro guía ha cambiado.



**Ilustración 26 - Detalle unión pisador y cilindro guía**

Con este tipo de montaje, el pisador, está fabricado de una sola pieza mediante moldeo. Después del desmolde, la pieza es mecanizada en los distintos puntos necesarios.

Mediante este mecanizado, se generan los encastrados, las ranuras para las guías, los agujeros y las roscas.

Con esta metodología de fabricación se dispone de una pieza formada por un bloque, en la cual se tienen todos los puntos de amarre necesarios para conectar las distintas piezas. Esta forma simplifica la fabricación y el montaje de todos los elementos.

También en este mismo punto se puede observar que la pieza que une el pisador y el cilindro guía, es totalmente de nuevo diseño. La fabricación de este elemento, consiste en varias pletinas soldadas, y después mecanizadas. Esta pieza va encastrada en el pisador, además de atornillada. Por otro lado se tiene el cilindro guía, el cual va roscado a esta pieza.

A su vez, esta pieza dispone de un agujero, en el cual va insertado un casquillo de bronce, el cual mejora la fricción entre los componentes, debido a que es un material autolubricante. Después, sobre este agujero va insertada la unión de la biela. Esta pieza es totalmente independiente, por lo que puede ser sustituida en cualquier momento, en caso de que sea necesario. Este sistema permite un montaje más sencillo y un mejor acoplamiento entre los componentes, además de reducir el peso considerablemente.

Otra pieza de nuevo diseño, es la que une el cilindro guía y la pieza anteriormente nombrada. Esta pieza se obtiene a partir del mecanizado de un bloque. También va encastrada sobre la pieza que une el pisador y el cilindro, lo que permite que el montaje siempre se realice siguiendo las mismas operaciones.

Al disponer de un encastre, no hay posibilidad a de realizar un montaje incorrecto en el caso de que sea necesario desmontar la pieza. Todos estos detalles constructivos facilitarán a los operarios las labores de montaje y desmontaje a la hora de realizar mantenimiento, si fuera necesario.

Por otro lado se ha realizado un cambio en la forma de unión de las guías. En el prediseño conceptual las guías iban unidas mediante una pieza atornillada. Ésta pieza estaba dispuesta de una forma muy compleja. En el nuevo diseño se ha simplificado y se ha sustituido por una pletina la cual va atornillada a todas las guías, de este modo se consigue de nuevo simplificar el diseño y el montaje de los elementos. En la Ilustración 27 se puede apreciar la pletina, la cual une las guías de forma solidaria.

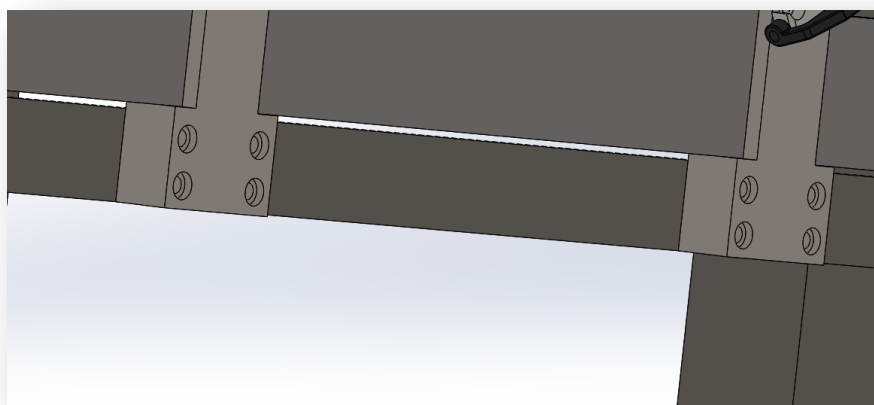


Ilustración 27 - Detalle unión entre guías

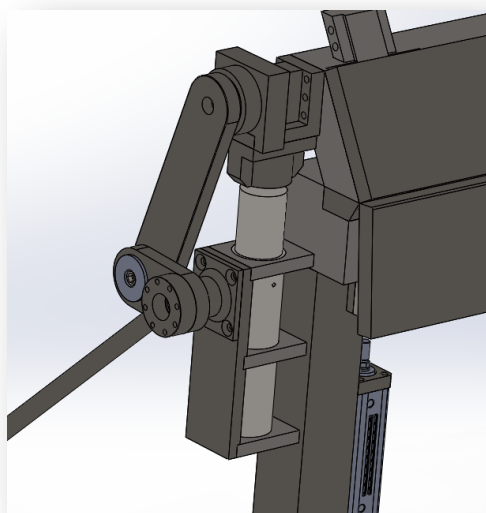
Por otro lado, otro de los cambios lo ha sufrido la bancada principal. El grueso de la bancada sigue siendo un macizo generado por moldeo para su posterior mecanizado, pero se ha mejorado la simplicidad de elementos en gran medida. Las patas están formadas por tres perfiles soldados al macizo. Estas patas disponen de unas pletinas en forma de trapecio en su base para mejorar su estabilidad y asentar la máquina contra el terreno.

Se han eliminado las dos columnas extra que sujetaban el apoyo del mecanismo biela-manivela. Esta modificación ha sido posible debido al nuevo diseño de unión entre el pisador y el cilindro guía. Al modificar la geometría de estos elementos, ha generado una nueva posibilidad de montaje para el mecanismo biela-manivela.

El montaje consta, en su base, de una camisa en forma cilíndrica, a la cual se le han insertado unas cartelas. Además, se ha añadido otra pletina con varios encastrés para unir todas las cartelas de forma correcta.

En la Ilustración 28 se puede observar el montaje de los nuevos elementos y como se ha eliminado la columna externa para sustentar la base del mecanismo biela-manivela. Por otro lado se observa la pieza que une la manivela a la pletina externa del conjunto que se ha rediseñado nueva para poder ensamblar el conjunto.

Todo el elemento se suelda a la perfil de la bancada y de esta manera se tiene un conjunto como bancada principal formado por varios subconjuntos. Todos estos elementos se explicarán detalladamente en el punto 8 Resultados Finales.



**Ilustración 28 - Nueva disposición de elementos en la bancada principal**

Por otro lado y como se puede observar en la Ilustración 28, Se muestra un cilindro neumático. Eso es debido a que el movimiento de ascenso y descenso de las guías no estaba solucionado. Para solucionar este problema ha sido propuesta una resolución mediante cilindros neumáticos.

Se han dispuesto cuatro cilindros neumáticos, uno en cada pata, estos cilindros sustentarán la trancha junto con las guías. Además, cuando se vaya a realizar el plegado con la trancha inferior, estos se encargarán de hacer la presión necesaria para limitar el movimiento de esta.

Para contener la carrera de ascenso de las guías, éstas se han modificado levemente. Han sido acortadas y se les ha generado un tope. Como se puede observar en la Ilustración 29, la guías anteriores, mostradas a la parte derecha, se muestran sin ningún tipo de obstrucción al movimiento y a las de nuevo diseño se les observa como se ha generado un tope de material. Este tope limitará el movimiento ascendente de los cilindros neumáticos, de este modo siempre se posicionarán en el mismo punto.



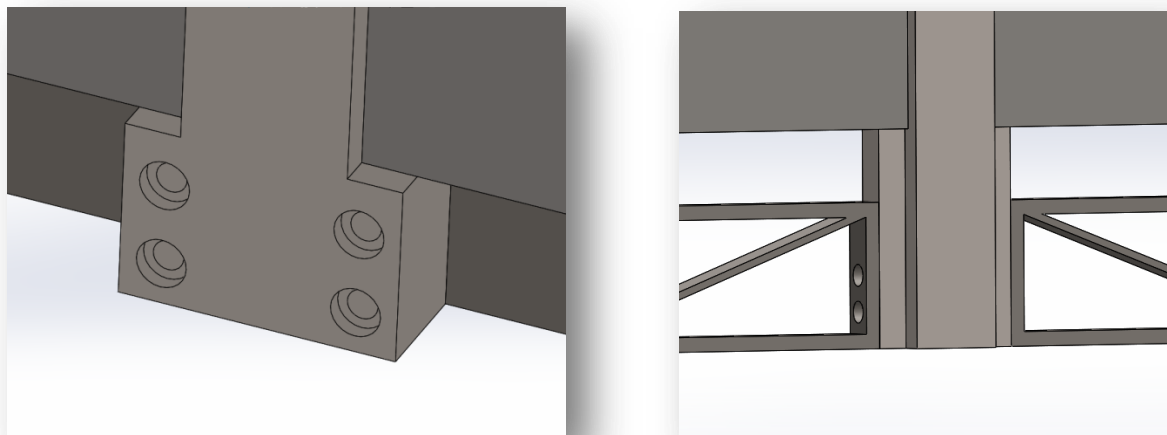


Ilustración 29 - Comparativa de guías

Estos cilindros neumáticos están anclados a los perfiles que forman las patas mediante unas pestañas soldadas a las mismas. Para poder trasladar el movimiento ascendente y descendente desde los cilindros a las guías, se ha diseñado una pletina en forma de 'L'. Ésta pletina va unida a la placa que une todas las guías. En la Ilustración 30, se puede observar el montaje completo de este subconjunto, en el que se observa todos los elementos de unión entre los cilindros neumáticos y la pletina de unión entre todas las guías.

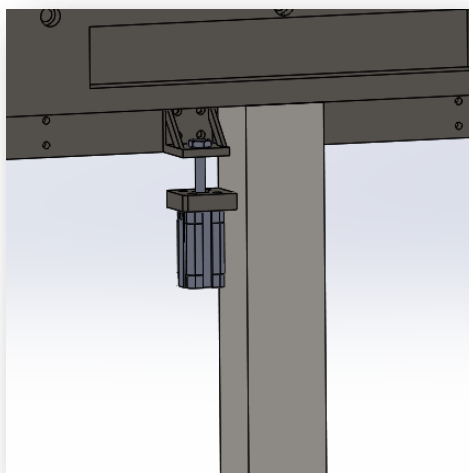


Ilustración 30 - Conjunto unión cilindro neumático

Este sistema también es usado en la parte superior de la plegadora. En este punto el montaje es distinto. Esto se debe a que como consecuencia de la inclinación de las guías, es necesario un diseño de nuevas piezas para el correcto ensamblaje de los elementos. En la Ilustración 31 se muestran las distintas piezas que se han diseñado para poder posicionar de forma paralela el movimiento del cilindro, con el movimiento de las guías.

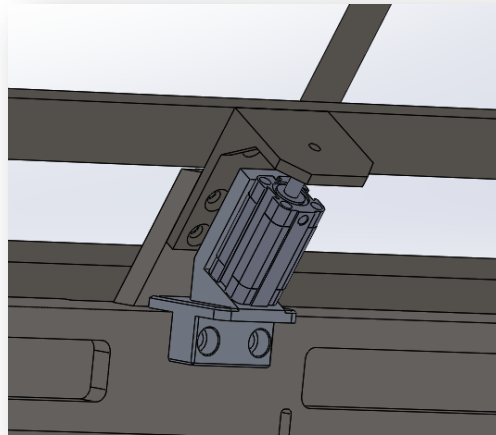


Ilustración 31 - Detalle montaje cilindro superior

En la Ilustración 31, también se puede observar la pletina que une las distintas guías. Todas las guías están unidas solidariamente mediante una pletina. Esta pletina va unida a unos cilindros, los cuales se sitúan en la parte posterior del pisador, sustentados por una pieza, la cual está formada, en parte, por una cuña, la cual posiciona correctamente los cilindros.

Hasta este punto se han analizado todos y se han dado soluciones a los distintos problemas planteados desde inicio. Se ha observado una clara evolución en el diseño y en los distintos elementos. En la Ilustración 32 se puede ver cómo quedaría el montaje completo con los distintos elementos explicados anteriormente.

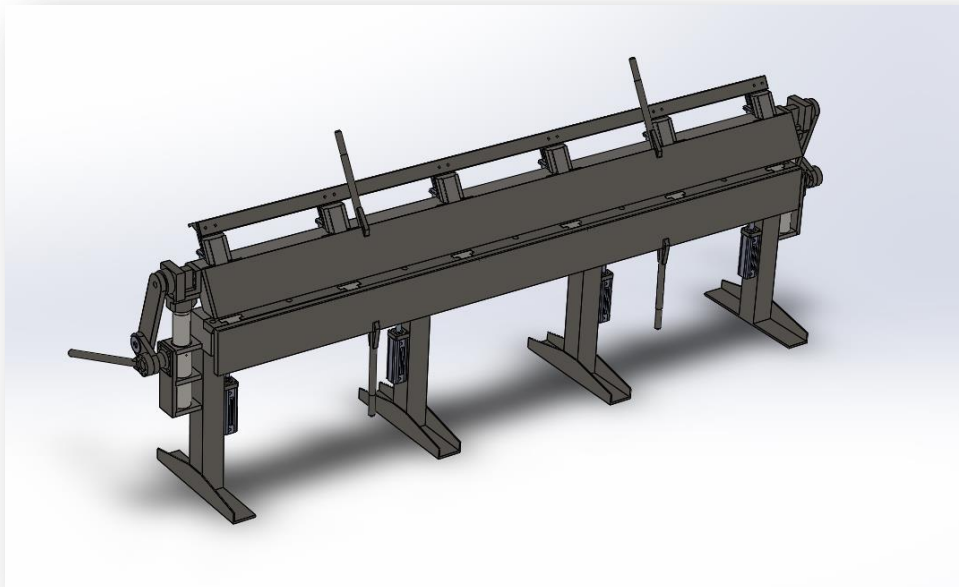


Ilustración 32 - Montaje completo plegadora

En el siguiente apartado, 8 Resultados Finales, se va a detallar todos los elementos constructivos de la plegadora. En este punto se va a mostrar específicamente cada elemento y el porqué de su elección.

Cabe la posibilidad de que exista alguna modificación en el siguiente apartado, esto es debido a que en dicho apartado se va a especificar completamente cada elemento.

## 8. RESULTADOS FINALES

En este apartado se va a realizar una descripción de todos los elementos que componen el diseño final de la plegadora. Se mencionarán características mecánicas de las distintas piezas, así como materiales de fabricación y métodos de fabricación. También se va a explicar los subensamblajes del sistema, y el desarrollo de los mismos, además de cómo se ensamblan los distintos elementos y los desarrollos de montaje.

Los cálculos mecánicos se van a realizar para las partes más importantes de la máquina, las cuales serán explicadas a continuación. Para dichos cálculos, se ha agrupado los distintos elementos, según su grado de relación entre sí. De esta manera es posible simplificar los distintos estudios estáticos que se van a realizar, así como, conseguir que estos ensamblajes no generen errores e incompatibilidades.

Es posible decir que los puntos que se mostrarán a continuación son los mismos grupos de estudios que se han generado en el programa de cálculo. Se van a definir en conjunto cada uno de ellos, y con las peculiaridades de las cuales disponen.

A continuación se puede observar en la Ilustración 33 los elementos detallados de los cuales se va a hablar a continuación.

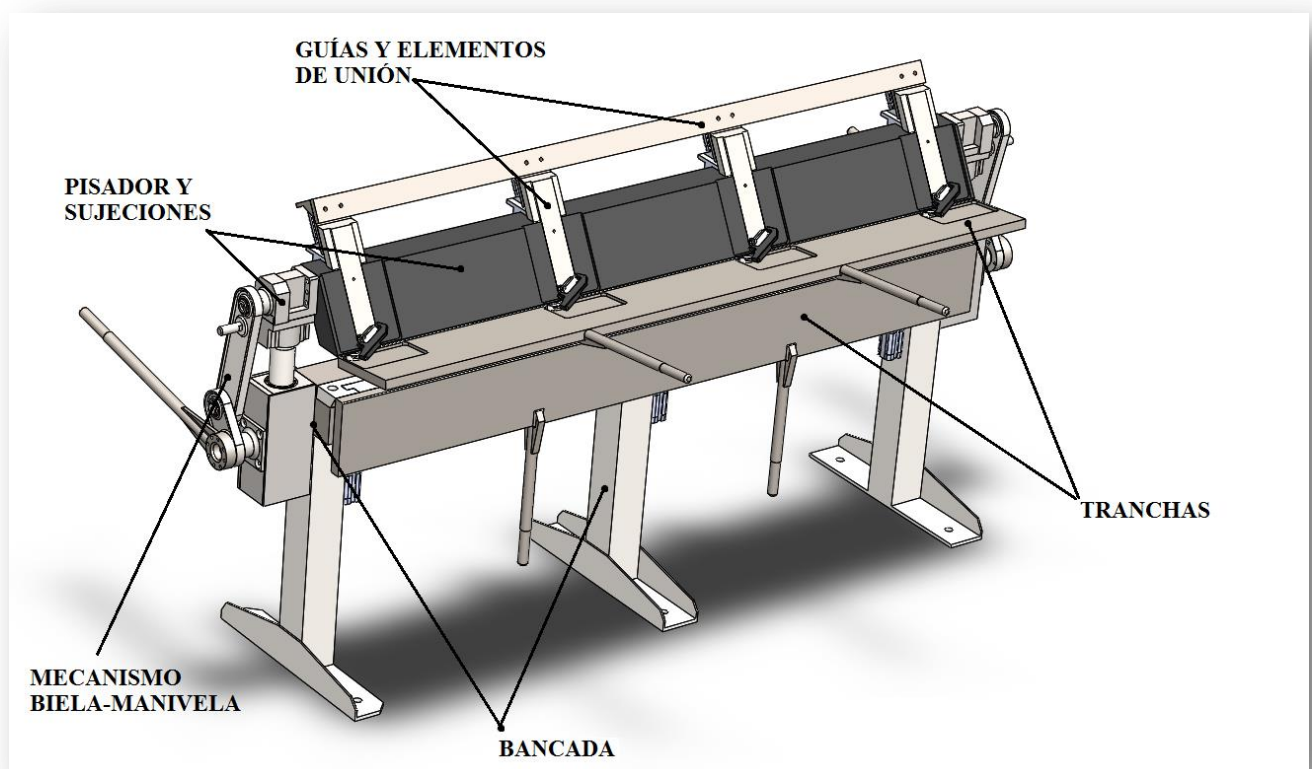


Ilustración 33 - Detalle elementos a explicar

## 8.1 BANCADA

En este apartado se va a proceder a la explicación de la bancada de la máquina. Esta parte de la máquina está compuesta por varios subconjuntos los cuales van soldados a la base guiada.

Como pieza principal se puede destacar la base guiada. Este es un elemento formado por fundición gris, mediante molde de arena. Una vez generada la pieza, esta es extraída del molde y posteriormente es mecanizada. Cabe destacar, que una de las operaciones de mecanizado más importantes es la de las ranuras para las guías. En ellas se necesitará una tolerancia de dimensional H8, el cual permitirá el deslizamiento mediante lubricación entre el agujero y la guía. Otra de las operaciones a realizar es el asiento para la punta endurecida. Este encaje permitirá la repetitividad en el posicionamiento de esta pieza. Como otras operaciones secundarias cabe destacar todos los taladros y vaciados para aligeramiento de la pieza. En la Ilustración 34 se puede observar la pieza completa por ambos lados.

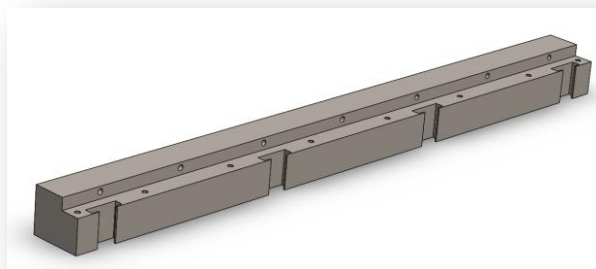


Ilustración 34 - Base guiada

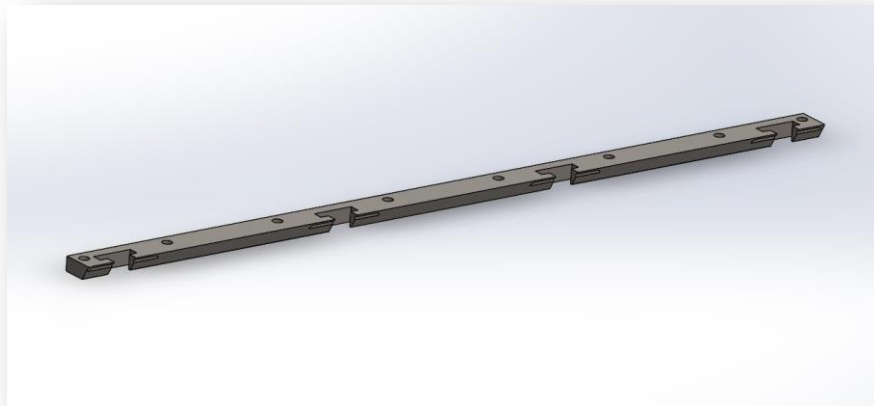
Otra de las piezas que forman este ensamblaje, es la ya mencionada anteriormente, punta endurecida, la cual se puede observar en la Ilustración 35. Esta pieza ha sido diseñada por separado, debido a que su dureza es muy superior a la de la base guiada.

A continuación en la Tabla 2 se muestra una comparativa de las diferencias de durezas entre los dos materiales.

Tabla 2 - Comparativa Durezas

PIEZA	MATERIAL	NORMA UNE	DUREZA BRINELL
Base guiada	Fundición Gris	EN-JS105	180/200
Punta endurecida	F-126	F-1260	383

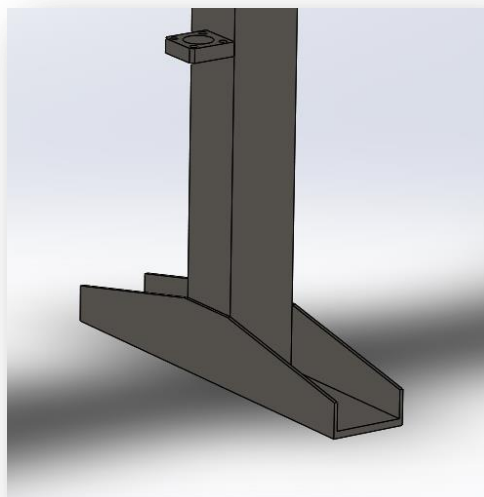
Una vez mostrada esta tabla queda demostrado que el aumento de dureza es considerable, y que el hecho de ser una pieza diferente cobra sentido. Además la posibilidad de una pieza independiente, da a lugar a una sustitución en casa de desgaste.



**Ilustración 35 - Punta endurecida**

Siguiendo con las piezas que son adheridas a la base, se tiene. Por un lado para formar la sustentación al suelo, se dispone de tres patas. Estas patas están formadas por perfiles cuadrados de 100mmx100mm fabricados con acero estructural S235. La elección de este tipo de acero viene dada a la estandarización de este material y sus perfiles.

Todas estas patas se han distribuido de forma uniforme sobre la base guiada. Para facilitar el apoyo al suelo, se ha añadido a la base de los perfiles, unas pletinas en forma de trapecio las cuales se pueden observar en la Ilustración 36. Estas pletinas van soldadas al perfil al igual que las patas y posteriormente amarradas al suelo. De esta manera se consigue una mayor sustentación y resistencia al vuelco.



**Ilustración 36 - Detalle de las patas**

Otro de los elementos que van añadidos a estas patas, son las pletinas encargadas de sujetar los cilindros neumáticos. Esta pletinas también van soldadas a una altura determinada sobre el perfil, en la Ilustración 36 es posible discernir dicha pletina.

Por otro lado se dispone del subconjunto encargado de sostener el mecanismo de biela-manivela. Este subconjunto está formado por varias pletinas. El material de estas pletinas es F.111, debido a su versatilidad y gran posibilidad de abastecimiento para su adquisición.

Estas pletinas poseen una forma determinada para que encajen perfectamente entre sí, debido a este encaje la facilidad a la hora del ensamblado para su posterior unión mediante soldadura, aumenta y permite una soldadura de fácil ejecución.

La parte externa circular, está dispuesta por un cilindro del mismo tipo de material, el cual se soldará a las pletinas exteriores. Sobre esta camisa fija se encastrará una camisa de aleación de bronce y estaño. Este material permite reducir el coeficiente de fricción entre la camisa exterior y el cilindro. Además dispone de un orificio para su engrase. Además este montaje posee unos orificios en las distintas piezas, para encastrar un pasador cónico, que se utilizará para realizar el bloqueo del pisador para ejecutar el plegado.

El diseño del pasador se ha realizado de acuerdo a criterios resistentes, que se pueden consultar en el apartado 11.6 Análisis estático pasador.

Todos estos elementos son soldados previamente y posteriormente son añadidos a la estructura final.

En la Ilustración 37 se puede mostrar el subensamblaje completo. En una de sus pletinas, como se puede observar en dicha imagen, se mecanizará un rebaje y unos taladros para el correcto posicionamiento del mecanismo biela-manivela, explicado en el apartado 8.5 Mecanismo Biela-manivela.

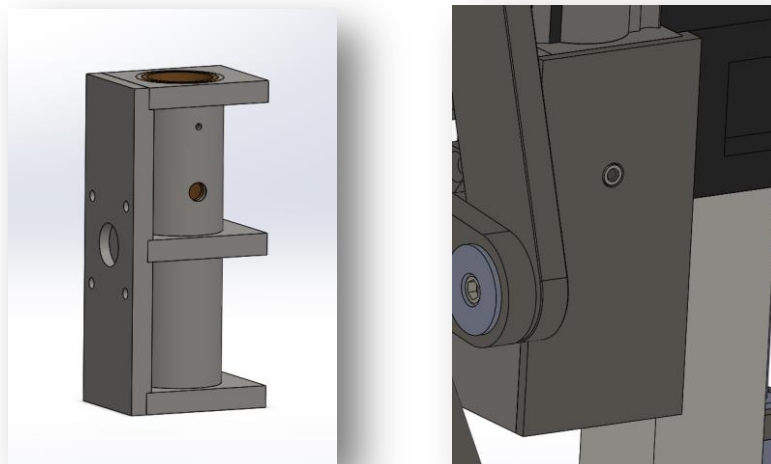


Ilustración 37 - Detalle subensamblaje

Todos estos elementos mencionados anteriormente forman la bancada de la máquina. En la Ilustración 38 es posible observar el montaje completo de la bancada. Para la comprobación y el cercioramiento de que el diseño utilizado para cada elemento es el correcto, se ha realizado un estudio estático lineal por elementos finitos con el programa SolidWorks Simulation.



Ilustración 38 - Montaje completo bancada

En este estudio se han tenido en cuenta todas las fuerzas externas que actúan sobre la bancada, así como, las restricciones necesarias para que dicho estudio sea una representación completa y certera de la realidad de la máquina.

Este estudio se detallará en el punto 11.1

Análisis estático, donde se verá reflejado todos los detalles necesarios.

Para concluir, en la siguiente Tabla 3, se va a mostrar los valores más representativos de dichos estudios.

Tabla 3 - Valores Estudio Estático

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	LIM.ELÁSTICO	TENSION MAX. VON MISES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD VON MISES
Base guiada	EN-JS105	145.59Mpa	4,329Mpa	35.49
Patas	S235 JR	235Mpa	8.257Mpa	24.12
Subensamblaje	F1110	380Mpa	8.257Mpa	68.46
Punta endurecida	F1260	1050Mpa	3.627Mpa	289

Tras la muestra de estos valores en la anterior tabla, es posible concluir que este conjunto de elementos están totalmente capacitados para asumir con total seguridad todas las sollicitaciones a las que se les somete. De esta manera se concluye el diseño de este conjunto con una solución favorable hacia el diseño elegido.



## 8.2 PISADOR Y SUJECIONES

En este apartado se va a realizar la explicación de un elemento fundamental de esta máquina, el pisador. El pisador es el encargado de ejercer la presión necesaria sobre la chapa para que esta se mantenga inmóvil a la hora del plegado en dirección ascendente. Este elemento se ha relacionado con sus piezas adyacentes, las cuales se encargan de sostenerlo y mantenerlo en la posición correcta.

En primer lugar se va a definir el pisador, en la Ilustración 39 es posible ver la forma de la pieza con más detalle.



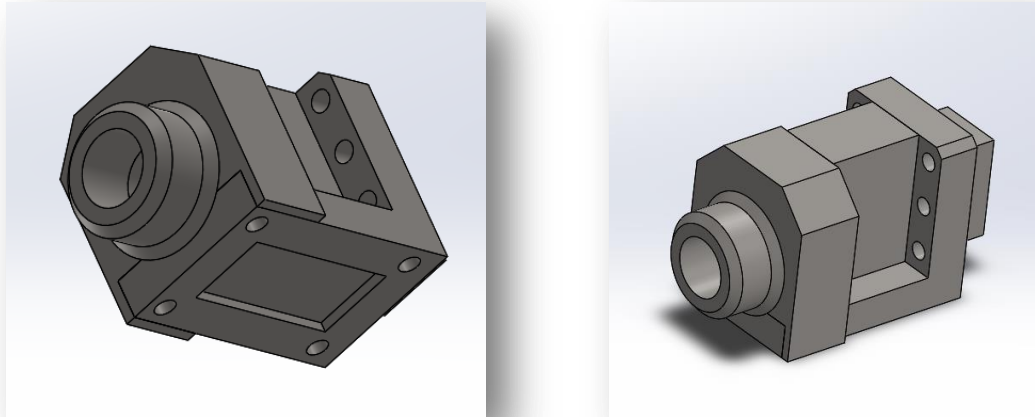
Ilustración 39 - Pisador superior

El material empleado es fundición gris, con las mismas características que la utilizada en base guiada, explicada anteriormente en el punto 8.1 Bancada.

El material es el EN-JS105, una fundición gris estándar y muy común, con un fácil mecanizado y de bajo coste. En la parte frontal de esta pieza, se puede distinguir claramente las ranuras de las guías, generadas mediante mecanizado. Por la parte anterior, se observan unos rebajes para el aligeramiento del tocho y unos taladros para sostener las piezas que posicionan los cilindros correctamente.

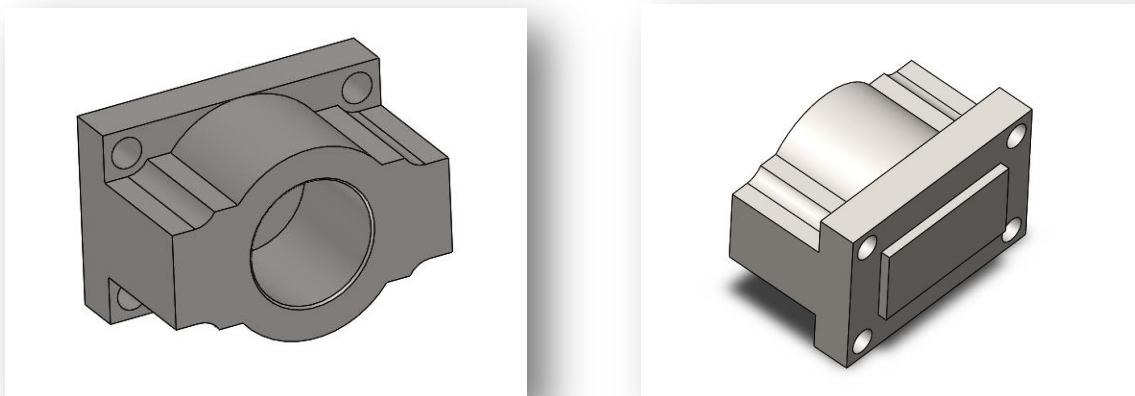
A ambos lados, se tiene un encastre para introducir el elemento de unión entre el pisador y los cilindros guía.

A este elemento se le ha dado el nombre de soporte cilindro guía y pisador. Este elemento se puede observar en la Ilustración 40. En ella se detalla el encastre de unión entre el pisador y sí mismo. Además, dispone de un orificio circular, para introducir una parte del mecanismo biela-manivela, el cual se detallara en el punto 8.5 Mecanismo Biela-manivela.



**Ilustración 40 – Soporte cilindro guía y pisador**

En la parte inferior, se puede percibir el encastre realizado para que la unión entre las piezas sea siempre la correcta. La pieza que va conectada a este encastre, recibe el nombre de cilindro guía, la cual se puede contemplar en la Ilustración 41. Mediante estos encastrados lo que se consigue es facilitar el posicionamiento de dichas piezas en el montaje y desmontaje de la máquina. Además, mecánicamente se consigue un efecto de ‘solidaridad’ entre ambas piezas y una mayor resistencia mecánica.



**Ilustración 41 – Apoyo cilindro guía**

Por otro lado en esta última pieza mostrada en la Ilustración 41, se hace notar en su parte inferior, un orificio. En este orificio va introducido el cilindro guía.

La misión de este cilindro guía es la de dirigir el movimiento del pisador superior, y de todos los elementos que están unidos a él, de forma lineal. A su vez, limita el movimiento en dirección paralela al plano de pisada del pisador. Este elemento se introducirá en la camisa de bronce-estaño, detallada en el apartado 8.1

Bancada, de este modo, se deslizará fácilmente y tendrá una buena lubricación.

Otro de las características que cabe destacar de la pieza mostrada en la Ilustración 41 es su forma de apoyo. Con forma de apoyo se quiere definir la superficie en la cual va mecanizado el orificio. Esta superficie, cuando el pisador está en su posición para ejecutarse el plegado, contacta con la superficie del subensamblaje de la bancada. En la Ilustración 42, se puede observar el contacto entre estos elementos. Con este contacto se consigue disminuir la flecha provocada en el pisador cuando se realiza el plegado. Este elemento ha sufrido muchas modificaciones a lo largo del desarrollo de este producto, debido, a que es la zona más crítica en cuanto al diseño del pisador se refiere.

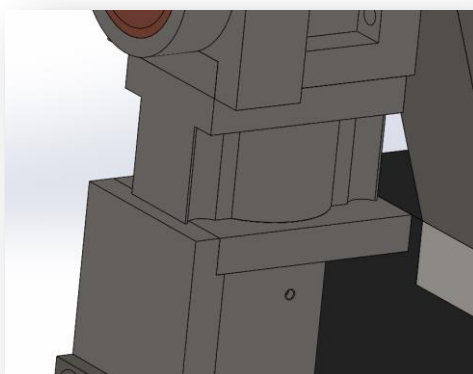


Ilustración 42 - Detalle contacto entre elementos

Se puede continuar observando en la Ilustración 43 un detalle de como iría el conjunto ensamblado de una forma 'aligerada', de esta forma se puede ver los componentes separados del resto y ensamblados entre sí. En todos estos ensamblajes se omiten los pernos para simplificar el modelo.

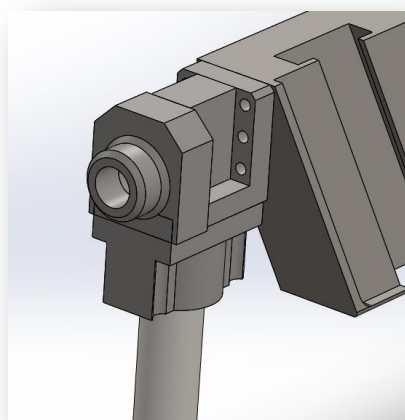
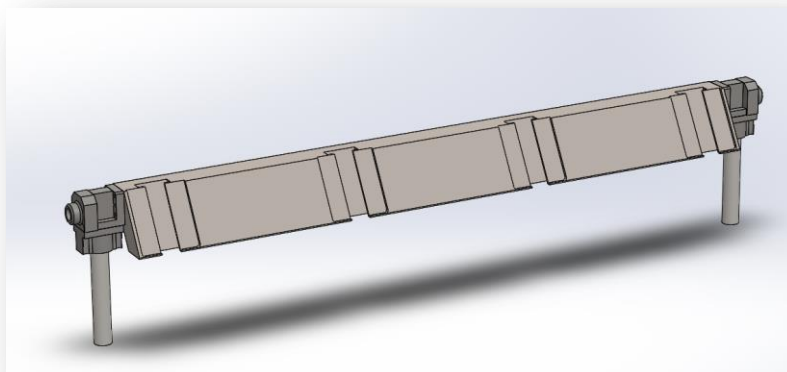


Ilustración 43 - Detalle conjunto pisador

En definitiva el montaje empleado para la ejecución del estudio estático es el siguiente.



**Ilustración 44 - Detalle subensamblaje estudio estático**

Como se ha mencionado en el punto 8.1 Bancada, los detalles específicos de este estudio se podrán comprobar en el punto Análisis por elementos finitos (FEM), pero, de forma resumida se va a continuar con una tabla en la cual se expresarán los valores más determinantes.

**Tabla 4 - Resumen resultados**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	LIM.ELÁSTICO	TENSION MAX. VON MISES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD VON MISES
Pisador	EN-JS105	145.59Mpa	14.017MPa	13.50
Cilindro guía	F1110	380Mpa	6.77MPa	55.02
Soporte cilindro guía y pisador	F1110	380Mpa	31.75MPa	11.02
Apoyo cilindro guía	F1110	380Mpa	24.73MPa	12.07

Como se puede observar, los coeficientes de seguridad dejan el diseño del lado de la seguridad, de esta forma se puede confirmar que los diseños de los elementos son correctos. Además en este montaje en concreto, se ha tenido en cuenta la flecha en el centro del pisador, ya que era un punto crítico a la hora de nuestro diseño. Como en el punto 6 Requisitos de Diseño se ha mencionado, la flecha máxima permitida en el centro del pisador, era de 0.25mm. En la siguiente Tabla 5 - Desplazamientos, se observa un resumen de los desplazamientos totales y una comparativa entre el límite establecido.

**Tabla 5 - Desplazamientos**

Pieza	Flecha Permitida	Flecha Eje X	Flecha Eje Y	Flecha Eje Z	Flecha Resultante
Pisador	0.25mm	0.009017mm	0.007081	0.00208mm	0.2237mm

Al comprobar esta tabla, es posible aceptar el diseño como correcto, ya que cumple con el límite establecido. Todos estos datos se muestran más detalladamente en el punto Análisis por elementos finitos (FEM)

Para continuar se va a detallar el diseño de la trancha en el punto siguiente.

### 8.3 TRANCHA

Este apartado está dedicado a la explicación y detallado de la trancha y los componentes que la componen. Debido a que la acción de plegado en esta máquina es simétrica, solo se va a proceder a explicar una de las tranchas y sus elementos.

La trancha es el elemento encargado de transmitir la presión que han generado los operarios mediante su fuerza física. Esta posee dos palancas ensambladas sobre sí misma para transmitir dicha fuerza.

El par que se ha establecido necesario para el plegado de la chapa, es de un mínimo de,  $118,125 \text{ N} \times \text{m}$ . Esto se traduce a que cada operario deberá ejercer una fuerza mínima de 117.87N. Todos estos cálculos podrán ser comprobados en el apartado 10.1

Cálculo fuerza operario.

Para continuar se puede decir que la parte principal está formada por una pletina de 25x300x2000mm. Esta pieza es mecanizada para conseguir la forma requerida. El material de la cual está fabricada es, según la norma UNE, el F1110, un material muy común y de fácil adquisición.

En la siguiente Ilustración 45, es posible observar el diseño de la trancha en su totalidad. Además, se puede apreciar el refuerzo soldado en las palancas para mejorar el comportamiento mecánico de esa zona.

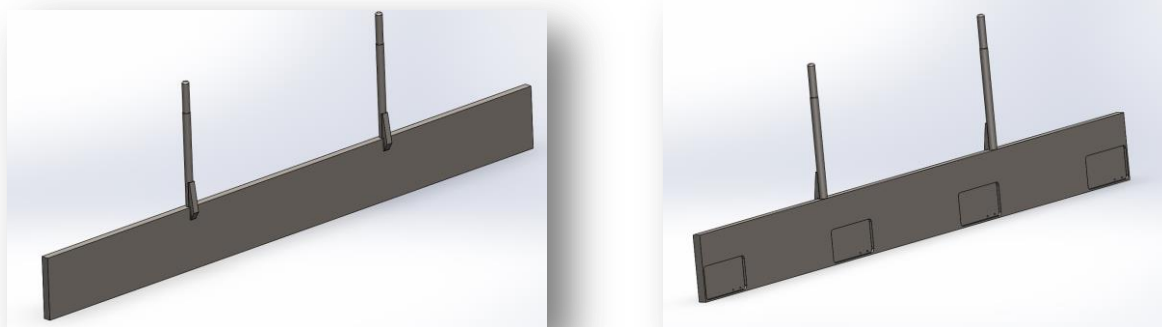


Ilustración 45 - Trancha superior

Por otro lado también es posible distinguir los rebajes y agujeros en los cuales van amarradas las bisagras. Dichas bisagras se pueden observar en la Ilustración 18 del punto 7 Análisis de Soluciones. De cualquier manera, en la ilustración es posible observar el montaje representado en el programa Solidworks, por una parte el posicionamiento de todos los elementos, y la trancha, en una posición aleatoria, en un estado de transparencia. Así pues es posible observar los elementos posteriores.

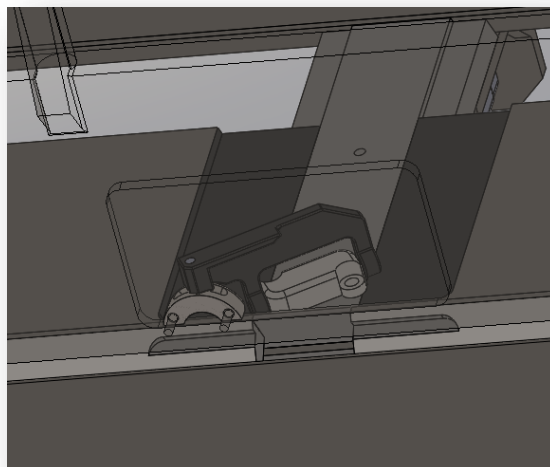
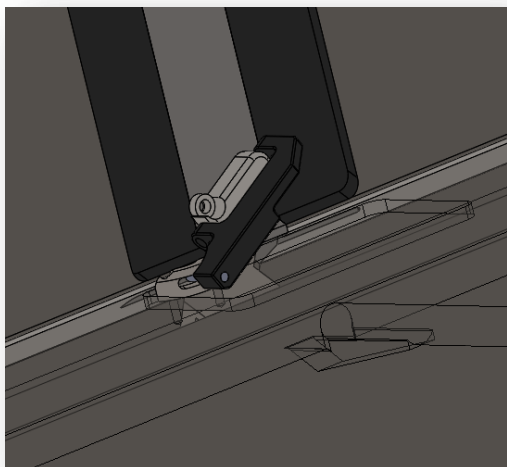


Ilustración 46 - Montaje bisagra

Como ya se mencionó anteriormente, estas bisagras forman un papel fundamental en el diseño de esta plegadora, ya que debido a ellas, se puede aumentar considerablemente la longitud de plegado y por supuesto, el plegado bidireccional.

A este elemento también se le ha realizado un estudio estático. Como en los puntos anteriores, se muestra un resumen de los puntos más importantes. En la siguiente tabla, Tabla 6 - Resumen resultados, es posible observar que, el coeficiente de seguridad del elemento deja el diseño en el lado de la seguridad, por lo tanto el diseño es el correcto.

Tabla 6 - Resumen resultados

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	LIM.ELÁSTICO	TENSION MAX. VON MISES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD VON MISES
Trancha superior	F-1110	380Mpa	28.53Mpa	13.32

La obtención de estos resultados se detalla en el apartado 11. Análisis por elementos finitos (FEM)

Una vez resuelta esta tabla, se puede continuar con la explicación de otros elementos que afectan directamente a las tranchas, las guías. Para la explicación de estos elementos y sus añadidos, se deberá continuar en el apartado siguiente.

## 8.4 GUÍAS Y ELEMENTOS DE UNIÓN

Las guías que se van a mostrar en este punto, son elementos fabricados, debido a que no existen piezas comerciales que puedan cubrir las solicitudes requeridas. El material del cual están fabricadas es F-1110, dicho material y como se ha mencionado anteriormente, es un material muy común y de fácil adquisición. Estas piezas son mecanizadas partiendo desde un bruto de metal. En este caso en concreto, todas las superficies deslizantes necesitarán un acabado pulido, para reducir la fricción entre los componentes. Como se puede observar en la Ilustración 47, las guías no son iguales. Esto es debido a que las guías superiores están incrustadas dentro del pisador y este dispone de un ángulo de  $60^\circ$  para permitir que el plegado inferior funcione.

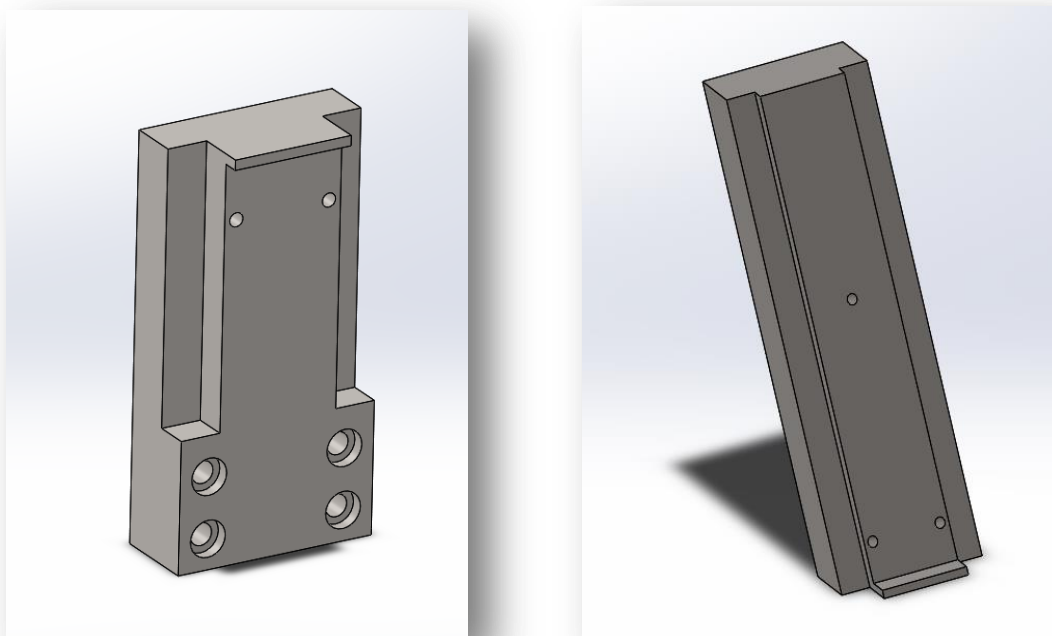
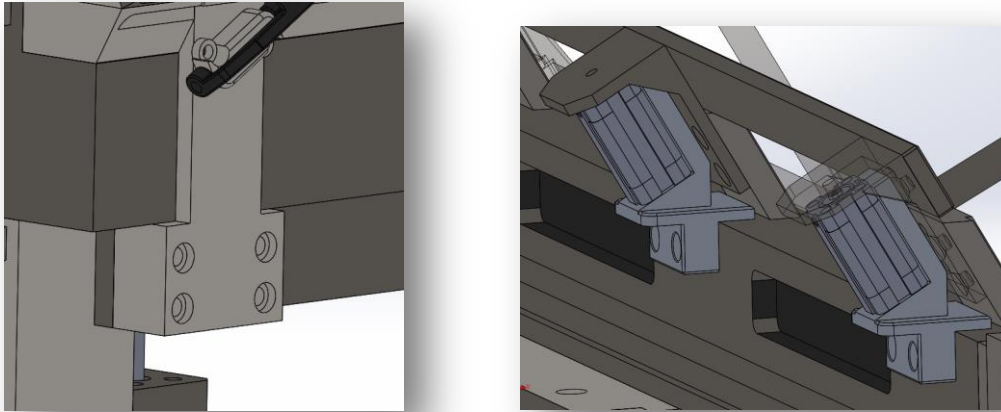


Ilustración 47 - Guía superior (Izqda.) y Guía inferior (Dcha.)

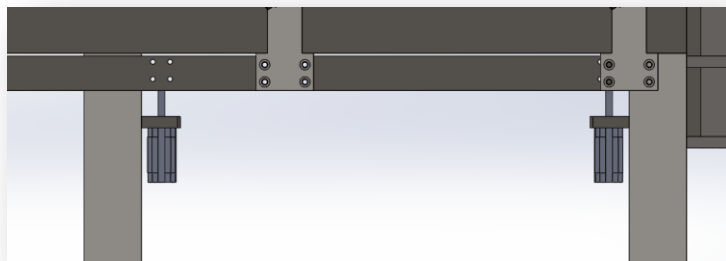
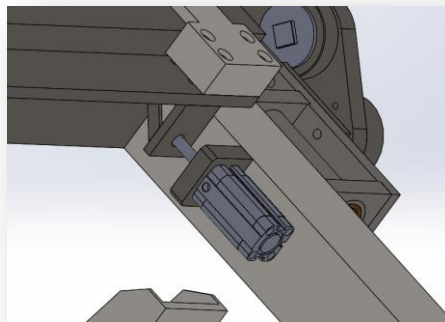
Tanto las guías inferiores como las superiores disponen de elementos que generan el movimiento de ascenso y descenso de las guías junto con las tranchas. Este movimiento está limitado en ambas guías. Para entender la limitación de este movimiento en la parte inferior se facilita la Ilustración 48. En dicha ilustración se puede apreciar el tope mecánico establecido en la guía inferior. Cuando los cilindros que empujan las guías hacia arriba son accionados, este tope limita el movimiento ascendente de la guía, a su vez, posiciona la cara superior de la guía coplanarmente a la de la punta endurecida, la cual se puede ver en la Ilustración 35 - Punta endurecida.



**Ilustración 48 - Restricciones de movimiento en guías. Inferior (Izqda.), Superior (Drcha.)**

Para que el movimiento de todas las guías inferiores sea uniforme, todas ellas se han unido de forma mecánica, mediante una pletina. Dicha pletina une todas las guías inferiores y a su vez transmite la fuerza que ejercen los cilindros neumáticos a las guías. La transmisión de esta fuerza es posible debido a que en la pletina de unión de guías, dispone de unos agujeros para atornillar unas piezas, las cuales se amarran a los vástagos de los cilindros. En la Ilustración 49 se pueden diferenciar las distintas piezas nombradas anteriormente. Los cálculos de las presiones necesarias se pueden consultar en el apartado 10.2

Cálculos de cilindros neumáticos.



**Ilustración 49 - Detalle guías y pletina de unión**



Por otro lado, en la parte superior también existe un tope mecánico. La distinta fisionomía de la parte superior, implica que este tope sea distinto.

De nuevo, observando la Ilustración 48 - Restricciones de movimiento en guías. Inferior (Izqda.), Superior (Drcha.), es posible advertir que en este caso el tope mecánico es realizado por los cilindros. Cuando el cilindro está totalmente recogido, que es cuando está en funcionamiento, ejerce presión hasta el límite de recorrido de su vástago. Una vez en dicha posición se detiene el movimiento y la guía queda posicionada correctamente.

Para que esto pueda suceder, es necesario de una pieza intermedia, la cual también es posible observar en dicha ilustración, que permita que el movimiento del vástago, sea totalmente paralelo al de la guía. De nuevo y como en el montaje de la parte inferior, todas las guías va unidas mediante una pletina que las mantiene solidarias entre sí. De esta manera todas las guías se mueven de forma sincronizada.

En la Ilustración 50, se puede observar una vista más completa de los elementos.

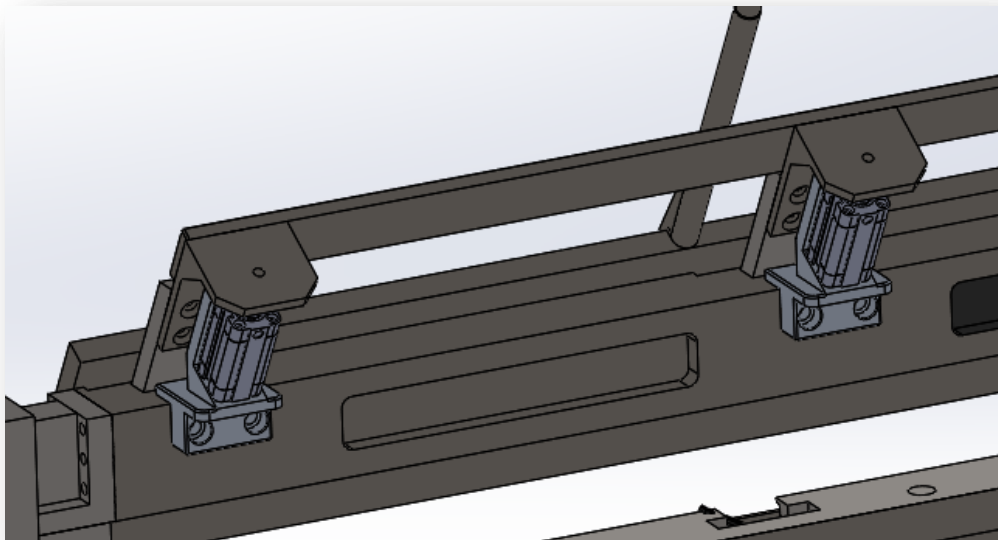


Ilustración 50 - Detalle elementos superiores

La pletina de unión y las piezas son de acero F-1110, y los elementos de posicionado de los cilindros son de aluminio, de este modo, se facilita su mecanizado.

Los tipos de cilindros se pueden consultar en el la Tabla 8 - Resumen elementos

Por último y para concluir la explicación de los elementos más importantes de esta máquina, se va a explicar el mecanismo de biela-manivela. Para proceder con la explicación, se debe continuar en el siguiente apartado.

## 8.5 MECANISMO BIELA-MANIVELA

Este mecanismo ha sido elegido por su simplicidad y efectividad para la limitación de movimientos. Éste limita el movimiento del pisador y a su vez transmite el par generado por los operarios a dicho pisador. Al ser un elemento biarticulado, se sabe que sus piezas únicamente están sometidas a esfuerzos compresión-tracción, lo que limita el rango de estados tensionales a los cuales puede estar sometido. Sí que es cierto que en este caso la manivela sufre un momento de inercia, este momento es el generado por la palanca. El dimensionado de estos elementos se ha verificado mediante análisis estáticos por el método de elementos finitos. Como en los puntos anteriores, todos los detalles se podrán observar en el Análisis por elementos finitos (FEM).

Además se puede añadir que este mecanismo, confiere una ventaja mecánica al operario, debido a que transmitimos el par generado por la palanca, a la manivela y de esta manera se facilita el levantamiento del pisador

Después de esta breve introducción, se va a proceder a nombrar los elementos que componen este sistema, como primera pieza de este ensamblaje se tiene la biela. Dicho elemento es de gran importancia, ya que es una de las piezas fundamentales de este mecanismo. Esta pieza está fabricada en acero F-1110. En la Ilustración 51, es posible observar la biela en su forma real.

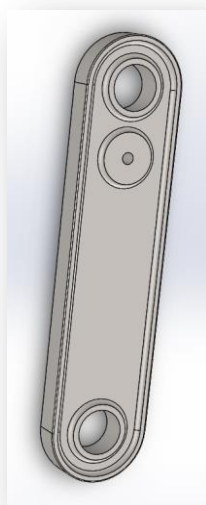


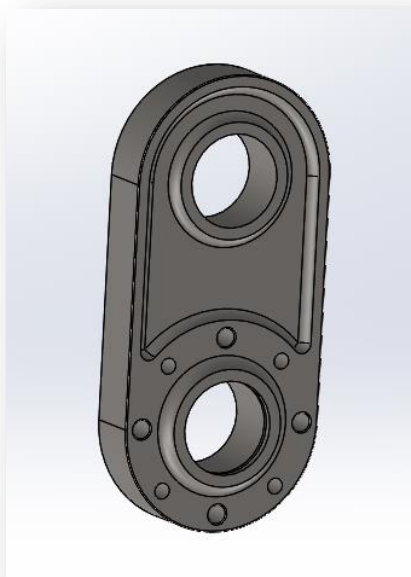
Ilustración 51 - Biela

Es fácil discernir los dos orificios encargados de la unión entre el pisador y la manivela mediante unos pasadores, los cuales se describirán más adelante. Además, dispone de un taladro, donde se añadirá un tope mecánico para bloquear la palanca en su recorrido de apertura del pisador. De esta manera se mantendrá el pisador abierto.

Sobre esta biela se han realizado operaciones de mecanizado, para un vaciado de la pieza, de esta manera se obtiene una pieza de menor peso, sin que ello repercuta de forma notable en sus propiedades mecánicas.

Como en los casos anteriores, el diseño de este elemento también se ha verificado mediante análisis resistentes por elementos finitos. Al final de la explicación de todos los elementos se ofrecerá una tabla resumen donde, se muestran los puntos más importantes de los estudios estáticos.

Para continuar, se va a proceder a mostrar la manivela. En la Ilustración 52, es posible observar el detalle de la manivela, en ella de nuevo se observa una pareja de orificios para la unión en entre, la biela y la manivela, y la manivela y la bancada.

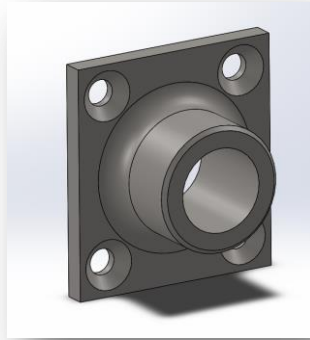


**Ilustración 52 - Manivela**

Además, en esta pieza distinguimos una peculiaridad frente a la otra. Dispone de ocho orificios. Los cuatro primeros que se observan con un leve avellanado, están dispuestos para el posicionamiento de cuatro pasadores. Estos pasadores son los encargados de absorber el momento generado por la palanca sobre la manivela. Los otros cuatro, son simples agujeros roscados para restringir el movimiento axial de la palanca con respecto a la manivela, así evitar que se separe. Con esta distribución de agujeros, lo que se pretende es liberar a los tornillos de los esfuerzos a cortante, y que estos, los absorban los pasadores. El montaje completo se observará más adelante.

El montaje de biela manivela se conecta entre sí, mediante pasadores. En la unión entre la biela y la manivela, se tiene un pasador, sostenido axialmente por anillos seeger DIN 471. Además dispone de un casquillo autolubricado de broce. La unión superior, entre la biela y el llamado soporte cilindro guía y pisador, el cual se puede observar en la Ilustración 40 – Soporte cilindro guía y pisador, también es mediante un bulón. Este bulón, se encastra en dicha pieza y después se atornilla a ella para mantenerla solidaria. Por otro lado se introduce la biela, y se sostiene con un anillo seeger DIN 471. El cual se puede observar en la Tabla 8 - Resumen elementos.

Por la parte inferior el ensamblaje tiene características similares a las ya descritas. Para completar dicha conexión se ha diseñado una pieza extra, denominada sujeción pasador. En la Ilustración 53 se puede observar en detalle dicha pieza.

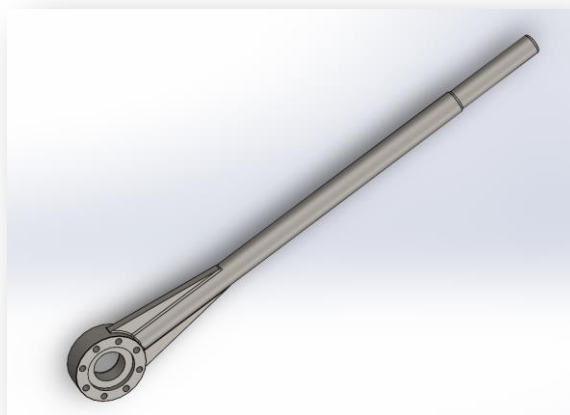


**Ilustración 53 - Sujeción pasador**

Esta pieza, al igual que las otras, está fabricada en acero F-1110, y su única misión es sostener el pasador que sujeta todo el mecanismo. Para que esta pieza siempre se posicione en el mismo sitio, la bancada, como ya vimos en el punto 8.1 Bancada, dispone de un leve rebaje el cual sirve de centrador del pasador y del casquillo del cual se dispone para el montaje. De nuevo el pasador va atornillado a la bancada y la manivela se introduce en el sosteniéndose axialmente por un seeger DIN 471.

Por último, se tiene la palanca, este elemento es el encargado de transmitir el par generado por los operarios a la manivela.

El material de la cual está fabricada es de nuevo acero F-1110. Dispone de dos partes, la parte circular, llamada brida, en la cual se tiene los orificios para ser conectada a la manivela y el tubo para poder disponer de la distancia necesaria para reducir la fuerza que genera cada operario. Además se ha reforzado el conjunto en el plano de acción del momento, para reducir las deformaciones. En la Ilustración 54, se pueden observar todos los detalles explicados. Las tres partes nombradas, se unen mediante soldadura.



**Ilustración 54 – Palanca**

Para concluir en la explicación del ensamblado de todos los elementos, se puede ver en la Ilustración 55, todos los detalles de dicho subconjunto. Se detalla una vista de la sección de todos los elementos, donde se puede observar cada uno de ellos, y de la forma en como están distribuidos.

También, se dispone de una vista en conjunto de cómo quedarían los elementos totalmente ensamblados.

Mediante esta ilustración, es posible realizarse una idea de cómo funciona el montaje completo, y la labor de los distintos elementos explicados en este apartado.

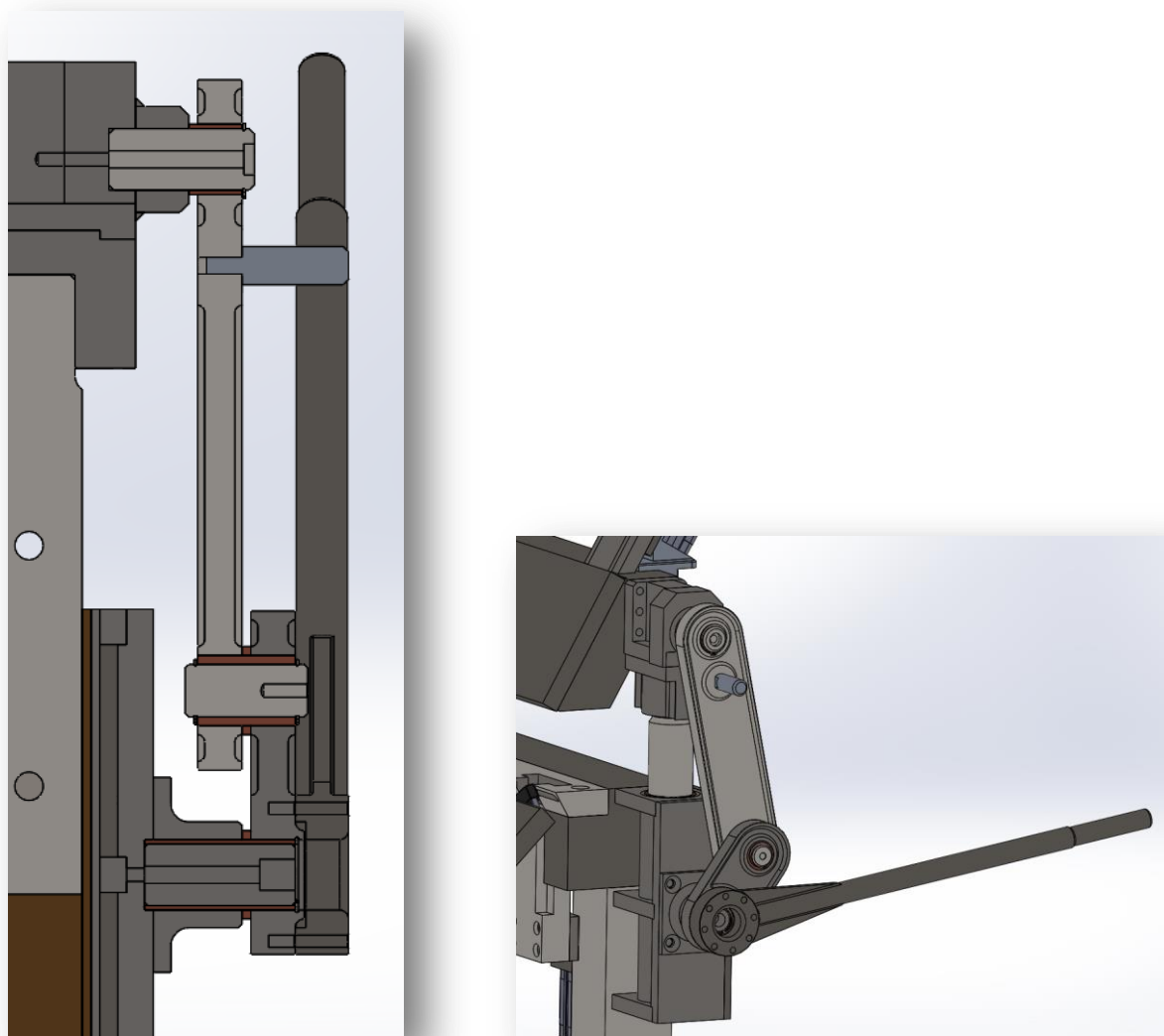


Ilustración 55 - Conjunto Biela-manivela

En dicho ensamblaje se observan muchos elementos, de este modo y para realizar una sencilla explicación de los resultados de los estudios realizados a cada elemento, se va a disponer como anteriormente una tabla resumen de los resultados de los estudios estáticos.

En dicha tabla se muestra el elemento en cuestión, el material del cual están fabricados, el límite elástico, y el coeficiente de seguridad según von Mises.

Al observar esta tabla es posible observar los resultados de los distintos para comprobar que cumplen con los criterios específicos de resistencia de materiales.

**Tabla 7 - Resumen resultados estudios estáticos**

ELEMENTO	MATERIAL Norma UNE	LIM.ELÁSTICO	TENSIÓN VM.	COEFF.SEGURIDAD
<b>Biela</b>	F-1110	380 MPa	4,55 MPa	83.46
<b>Manivela</b>	F-1110	380 MPa	1.7120MPa	221.9
<b>Palanca</b>	F-1110	380 MPa	97.64 MPa	3.89
<b>Sujeción pasador</b>	F-1110	380 MPa	1.53 MPa	248
<b>Bulón Biela- manivela</b>	F-1140	580 MPa	39.00 MPa	14.87
<b>Pasador Pisador- biela</b>	F-1140	580 MPa	26.98 MPa	21.50
<b>Pasador Manivela- bancada</b>	F-1140	580 MPa	28.74 MPa	20.18

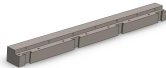







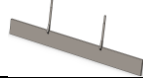





Esta tabla muestra lo que se ha ido mostrando en todas las anteriores, todos los elementos, tienen un coeficiente de seguridad muy elevado, lo que corrobora, de nuevo, el correcto diseño mecánico de todos los elementos de este ensamblaje.









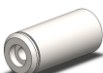
Para finalizar el punto 8 Resultados Finales, se va a proceder a mostrar en el siguiente punto, una tabla resumen de todos los elementos mencionados en puntos anteriores.

## 8.6 RESUMEN DE ELEMENTOS

Para finalizar con este apartado, se va a exponer una tabla resumen en la que se va a mostrar todos los elementos, el material y la forma de fabricación.

**Tabla 8 - Resumen elementos**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	MÉTODO DE FABRICACIÓN	IMAGEN DETALLE
Base guiada	EN-JS105	Moldeo por arena y posteriormente mecanizada	
Punta endurecida	F-1260	Mecanizado y posteriormente templado	
Patas de bancada	S235JR	Perfil laminado, chapas oxicorte, unión por soldadura	
Subensamblaje camisa cilindro guía	F1110	Pletinas y redondos mecanizados y posteriormente soldados	
Pisador	EN-JS105	Molde en arena y mecanizado	
Soporte cilindro guía y pisador	F1110	Pletinas oxicorte y mecanizadas	
Apoyo cilindro guía	F1110	Pletinas oxicorte y mecanizadas	
Vástago guía	F1114	Torneado	
Tranca superior	F 1110	Mecanizado, soldado, torneado	
Tranca Inferior	F 1110	Mecanizado, soldado, torneado	
Guía inferiores	F 1110	Mecanizada	
Guía superiores	F 1110	Mecanizada	
Barra unión guías inferiores	F 1110	Pletina mecanizada	
Acople para actuadores	F 1110	Pletina mecanizada y soldada	

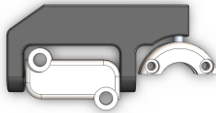
















Barra unión guías superiores	F 1110	Pletina mecanizada	
acople cilindros superiores	F 1110	Pletina mecanizada y soldada	
Acople cilindro neumático superior	Aluminio	Bruto mecanizado	
Sujeción pasador	F1110	Mecanizado	
Biela	F1110	Pletina mecanizada	
Manivela	F1110	Pletina mecanizada	
Palanca	F1110	Torneada, mecanizada y soldada	
Tope palanca	F1110	Torneado	
Bulones	F1140	Torneado	






Hasta aquí se pueden observar todos los elementos diseñados, su forma simplificada, el material y el nombre de la pieza. Para dar por concluido este punto, 8 Resultados Finales, se va a finalizar con la tabla de elementos estándares en el siguiente punto.



## 8.7 ELEMENTOS ESTÁNDARES

A continuación se va a mostrar la tabla con los elementos estándares, donde se podrá observar, el artículo, la referencia o norma, la cantidad y el proveedor.

ELEMENTO	NORMA O REFERENCIA	CANTIDAD	PROVEEDOR	DETALLE ELEMENTO
Ensamblaje Bisagra US 4513475 A	---	8	Machines4	
Circlip	DIN471-35x1,5	2	Rodalsa	
Circlip	DIN471- 30x1,5	2	Rodalsa	
Circlip	DIN 472-40X1,75	2	Rodalsa	
Pasador cónico	ISO-8736-a-16x60-C	2	Ibaiator	
Pasador Paralelo	DIN 8735 ISO 8x55	8	Ibaiator	
Cilindro compacto europeo	ISO -21287 Ø 63	4	ASCO numatics	
Cilindro compacto europeo	ISO – 21287 Ø 80	3	ASCO numatics	
Tornillo Allen	DIN 912 M5x20-8.8	16	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M8x50-8.8	8	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M8x25-8.8	16	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M8x20-8.8	12	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M10x55-8.8	12	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M10x100-8.8	4	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M10x45-8.8	16	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M12x20-8.8	8	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M14x40-8.8	8	Sija	

Tornillo Allen	DIN 912 M16x100-8.8	7	Sija	
Tornillo Allen	DIN 912 M16x45-8.8	8	Sija	
Tornillo Avellanado	DIN 7991 M12x20-8.8	24	Sija	
Tornillo Avellanado	DIN 7991 M12x30-8.8	8	Sija	
Casquillo vástago guía	Casquillos bronce bajo medida	8	Broncesval	

## 8.8 CONCLUSIONES A RESULTADOS FINALES

Para concluir este apartado 8 Resultados Finales, se va a realizar un análisis general del resultado definitivo de la máquina plegadora diseñada en este proyecto.

En la Ilustración 56 - Diseño definitivo plegadora, se puede observar un diseño completo de la plegadora.

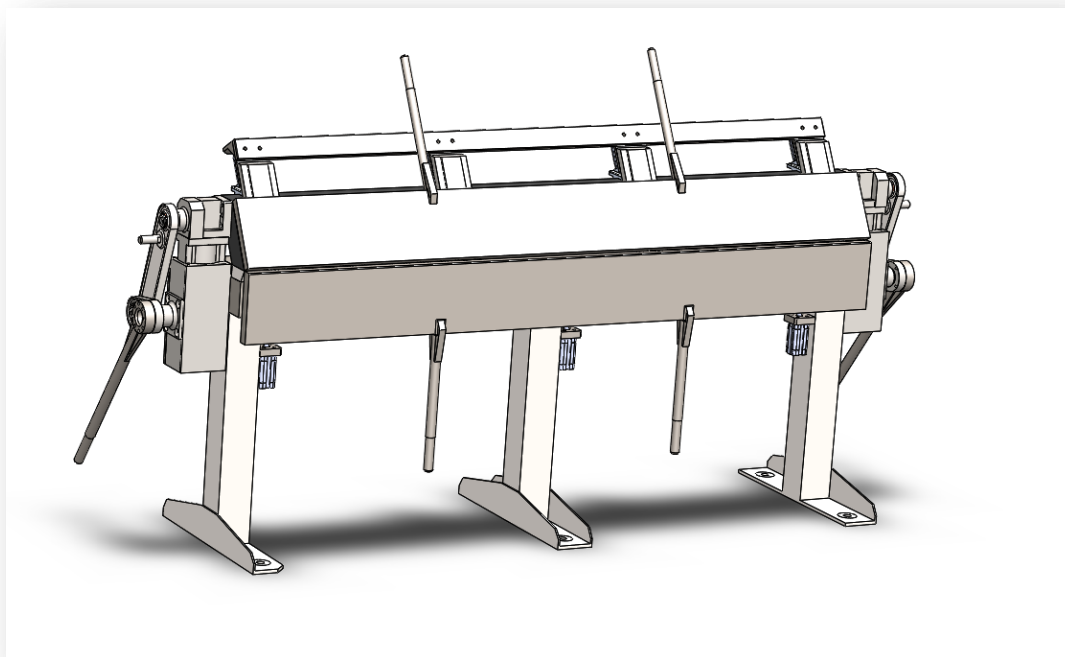


Ilustración 56 - Diseño definitivo plegadora

En esta imagen es posible distinguir todas las partes descritas anteriormente. Observando de nuevo los requisitos de diseño mostrados en el apartado 6 Requisitos de Diseño, se puede concluir que se han cumplido en su totalidad.

La máquina dispone de tranchas independientes para el plegado bidireccional, ambas dos con accionamiento manual.

Un pisador, el cual se acciona manualmente mediante la fuerza de dos operarios.

También, dispone de cilindros neumáticos, los cuales generan el movimiento de ascenso y descenso de las tranchas. Todos ellos solidarios entre sí para que el movimiento de las tranchas sea continuo. Además, se está máquina plegadora, se puede usar sin nivelación previa, simplemente se ancla al suelo y de este modo, ya se puede trabajar con ella.

Todos los elementos, se han diseñado para facilitar el montaje y desmontaje mediante encastrados o elementos de posicionamiento. Por otro lado, la gran mayoría carecen de mantenimiento lo que disminuye las labores de mantenimiento de la máquina y el coste de este mantenimiento.

Los materiales utilizados en la gran mayoría de piezas, son aceros muy comunes, esto permite su facilidad de abastecimiento.

Si por otro lado, se hace hincapié en la parte mecánica, se observa que la máquina en su conjunto goza de gran robustez, esto queda demostrado en los diferentes estudios estáticos realizados con SolidWorks, además todos los elementos están sobredimensionados, para conseguir una precisión en el plegado muy alta.

Por otro lado el peso total de la máquina ha sido de 952 Kg, muy por debajo de los 3000Kg de límite que poseía este proyecto según requerimientos.

En definitiva, el resultado final de esta máquina se puede decir que ha sido satisfactorio en todos los aspectos. Otra parte positiva, ha sido el diseño asistido por ordenador, esta herramienta ha facilitado la evolución de los distintos elementos, y ha ayudado a mejorar las distintas piezas desde el diseño inicial. Esto ha ayudado a observar un desarrollo de la máquina favorable y una evolución durante todo el proceso y la ejecución de este proyecto.

## II ANEXOS

### 9. TEORÍA DEL PLEGADO

En este apartado se va a explicar las hipótesis utilizadas en este proyecto. Debido a la complejidad de este tipo de acción de plegado, y a no asemejarse a ningún otro tipo de forma de plegado se han dispuesto varias herramientas para conseguir aproximar esta estimación a la realidad.

Para comenzar se planteó la hipótesis del doblado en borde, en la Ilustración 57 - Doblado en borde, se puede observar a qué tipo de doblado se refiere.

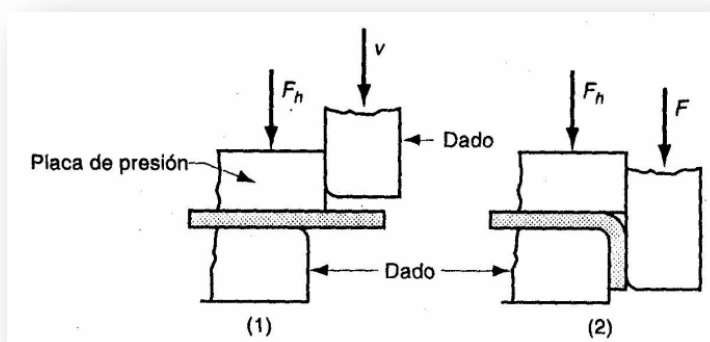


Ilustración 57 - Doblado en borde

De esta manera lo que es necesario determinar es la fuerza  $v$ . Más adelante se concluyó que este tipo de hipótesis no es la correcta, debido a que el plegado que se genera en la plegadora que atañe a este proyecto, es generado por un momento. Las tranchas, mediante su movimiento giratorio, imprimen en la chapa un momento el cual dobla esta chapa. Los redondeos en las puntas del pisador y la bancada, facilitan este plegado. Este cálculo es complejo, y debido a que no existen fórmulas que estimen la fuerza de doblado de este proceso, se estima el montante de la siguiente forma.

Como inicio de la explicación se determina que la chapa a plegar queda empotrada entre el pisador y la bancada formando una viga en voladizo.

Para continuar con la explicación de la hipótesis utilizada, se empieza por comentar que para conseguir el momento necesario, se establece, que la trancha aplica una carga de distribución lineal de forma triangular. Se asume que como efecto del plegado se produce dicha carga distribuida triangular, de la cual desconocemos su anchura, en este caso definida por,  $a_1$  y  $a_2$ . También se dispone de  $q_{max}$ , la cual define su intensidad máxima. Todos estos elementos definitorios se pueden observar en la Ilustración 58, la cual nos muestra un croquis identificativo general.

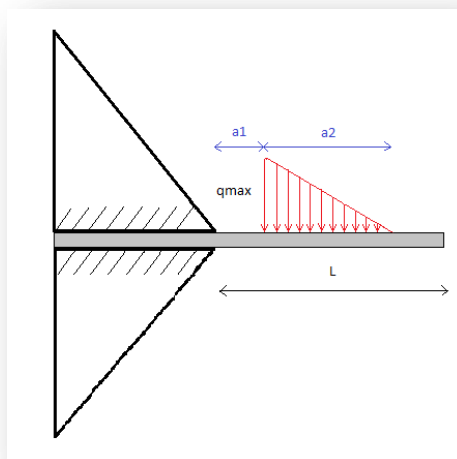


Ilustración 58 - Croquis representativo de esfuerzos

En nuestro caso particular dichas distancias se pueden definir físicamente de una forma muy aproximada. Esto es debido al montaje realizado por ordenador y a la realidad de los elementos.

Más concretamente se tiene.

- $a_1 \rightarrow$  Distancia entre inicio de la trancha y pisador o bancada. En nuestro caso 3mm
- $a_2 \rightarrow$  Distancia de presión de ambas tranchas. En nuestro caso 25mm

Una vez determinadas estas distancias se puede tratar la plancha como una viga en voladizo, y con una carga triangular aplicada a cierta distancia del empotramiento. De esta manera en la Ilustración 59, se puede observar el diagrama de sólido libre representado.

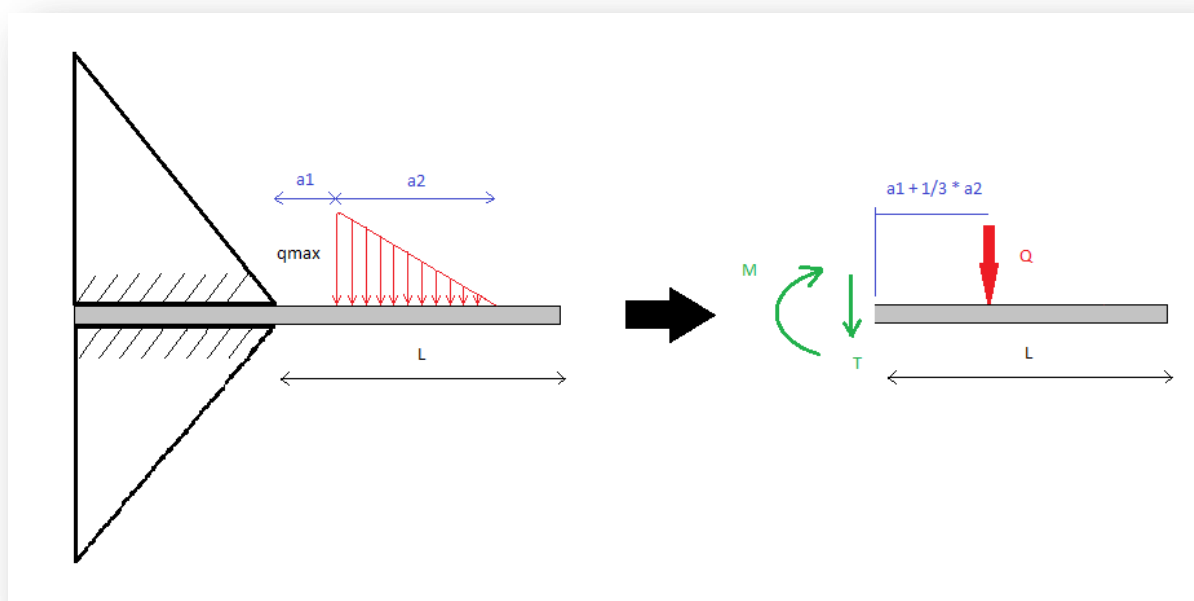


Ilustración 59 - Desarrollo estático

De dicha ilustración se intuyen dos ecuaciones:

$$(1) Q = \frac{1}{2} \times a_2 \times q_{max}$$

$$(2) M = -Q \times \left[ a_1 + \frac{1}{3} \times a_2 \right]$$

Partiendo de aquí, se dispone de dos ecuaciones (1) y (2), y de tres incógnitas, M, Q y  $q_{max}$ . Para poder resolver este sistema de ecuaciones, se plantea otra de las hipótesis necesarias para la resolución del problema mencionado anteriormente.

El inicio de nuestra hipótesis se plantea desde la fórmula de la flexión donde se puede definir como:

$$(3) \sigma_y = - \frac{M_y}{I}$$

En esta fórmula (3) se dispone de tres variables, de las cuales se conoce dos de ellas,  $\sigma_y$  e  $I$ . Para este caso en concreto y debido a la inexistencia de ecuaciones que puedan definir nuestro problema. Se va a igualar,  $\sigma_y$  a la tensión de fluencia del material. Esto viene a representar que si se dispone de dicha chapa, con dicho momento de inercia  $I$  y dicha tensión de fluencia  $\sigma_y$ , el momento resultante  $M_y$  será capaz de conseguir dicha tensión de fluencia  $\sigma_y$  y por lo tanto comenzar a doblar la chapa. A partir de aquí se definirá la tensión de fluencia como ' $S_y$ '.

Por otro lado el momento de inercia,  $I$ , se va a definir como el de una barra rectangular, siendo su eje de giro el longitudinal de la chapa. En la Ilustración 60 - Sección chapa, se observa que el momento necesario es el  $x'$ .

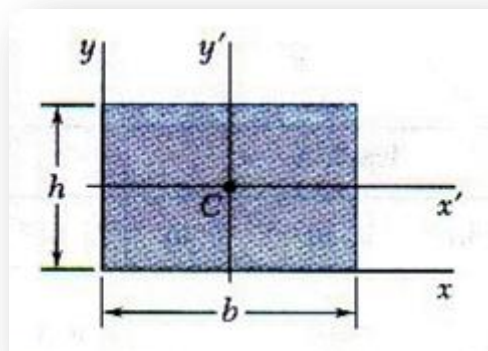


Ilustración 60 - Sección chapa

Por lo tanto para nuestro caso se redefine  $I$  como ' $I_{x'}$ '.

Más concretamente:

$$(4) I_{x'} = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

Finalmente, se tiene definida por completo la hipótesis de cálculo. Cabe destacar que todas estas aproximaciones se han definido debido a la inexistencia de ecuaciones las cuales expliquen este suceso.

Para poder continuar con el siguiente apartado 9.1 Cálculos de plegado, se va a definir una tabla con los datos iniciales de los cuales se dispone de partida. Estos datos se muestran en la siguiente Tabla 9.

**Tabla 9 - Datos iniciales**

<b>Anchura</b>	<b>b</b>	<b>2000</b>	<b>mm</b>
<b>Espesor</b>	<b>h</b>	<b>1,5</b>	<b>mm</b>
<b>Límite fluencia</b>	<b>S<sub>y</sub></b>	<b>200</b>	<b>MPa</b>
<b>Módulo elasticidad</b>	<b>E</b>	<b>210</b>	<b>MPa</b>
<b>Distancia entre trancha y pasador o bancada</b>	<b>a1</b>	<b>3</b>	<b>mm</b>
<b>Distancia de apoyo de las tranchas</b>	<b>a2</b>	<b>25</b>	<b>mm</b>

Partiendo de estos datos, a continuación se mostrará el apartado 9.1 Cálculos de plegado, donde se va a desarrollar paso por paso todas las ecuaciones y resultados obtenidos teóricamente para la resolución de este problema tan complejo.

## 9.1 CÁLCULOS DE PLEGADO

Para comenzar este punto se deberá tener siempre presente la Tabla 9 - Datos iniciales, para el correcto entendimiento de todas las ecuaciones. Partiendo de aquí comenzamos con el cálculo.

. Área sección de la chapa 'A'.

$$(5) \quad A = b \times h = 2000 \times 1.5 = 3000 \text{ mm}^2$$

. Inercia sección de la chapa 'Ix'.

$$(6) \quad I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 2000 \times 1.5^3 = 562.5 \text{ mm}^4$$

Para seguir, sustituyendo en (3)

$$M_y = -118125 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Una vez obtenido M<sub>y</sub>, se sustituye en la siguiente ecuación (7) y despejamos Q.

. Momento generado en el empotramiento

$$(7) \quad M = -Q \times \left[ a1 + \frac{1}{3} \times a2 \right] \quad ; \quad Q = \frac{M}{\left[ a1 + \frac{1}{3} \times a2 \right]} = \frac{118125}{\left[ 3 + \frac{1}{3} \times 25 \right]} = 10422.79 \text{ N}$$



De nuevo, al disponer de  $Q$  es sustituida en la ecuación (8) y resulta lo siguiente

. Carga total ( $Q$ )

$$(8) \quad Q = \frac{1}{2} \times a_2 \times q_{max} \quad ; \quad q_{max} = \frac{Q}{0,5 \times a_2} = \frac{10422.79}{0,5 \times 25} = 833.82 \text{ N/mm}$$

Una vez llegados a este punto se ha obtenido los esfuerzos necesarios para realizar los estudios estáticos lineales y no lineales pertinentes. Además cabe destacar que en puntos siguientes se mostrará los cálculos para la fuerza del operario al levantar el pisador, y la presión a realizar por los cilindros neumáticos.

Todo ellos lo se contemplará en el siguiente punto 10 Otros elementos de cálculo.

## 10. OTROS ELEMENTOS DE CÁLCULO

Una vez conocidos los cálculos del plegado, se va a mostrar los otros dos elementos de los cuales se quiere tener en cuenta respecto a cálculos teóricos se refiere.

Uno de los elementos, es sobre el mecanismo biela-manivela. En este mecanismo se va a proceder a mostrar el esfuerzo por operario, que debería realizarse para elevar el pisador y dejarlo en su posición de reposo.

Por otro lado, se va a descubrir los cálculos de los cilindros neumáticos, como es posible recordar, estos, son los encargados de elevar las guías junto con las tranchas a las posiciones de reposo y plegado. Todo ello se va a mostrar en los siguientes apartados.

Para continuar, se va a redactar en primer lugar, los cálculos sobre el mecanismo biela-manivela. Todo ello se puede encontrar en el siguiente apartado.

### 10.1 CÁLCULO FUERZA OPERARIO

El mecanismo biela-manivela, ha sido usado durante mucho tiempo, para transformar movimientos rectilíneos en circulares y viceversa. En este proyecto y más concretamente en esta plegadora, es utilizado para transformar el movimiento de la palanca, el cual genera un momento angular, en un movimiento lineal, el cual eleva o desciende el pisador junto con sus elementos.

En el caso que nos atañe, se dispone de dos mecanismos biela-manivela, pero, como nuestra carga está repartida entre ambos, sólo se va a mostrar los cálculos de un mecanismo, ya que el otro, es igual.

Para comenzar se puede observar en la Ilustración 55 - Conjunto Biela-manivela, todo el subconjunto al cual se refiere. Esta ilustración se puede consultar en el apartado 8.5 Mecanismo Biela-manivela. Debido a que en esta ilustración se puede observar el conjunto, Aquí se va a proceder a explicar el esquema de cargas, el cual se puede observar en la Ilustración 61 - Esquema biela-manivela.

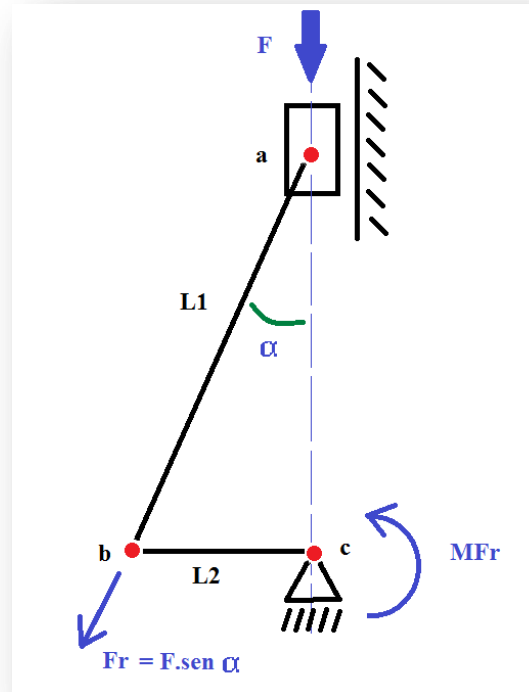


Ilustración 61 - Esquema biela-manivela

De dicha Ilustración 61, se puede sacar varias conclusiones. La primera es que el momento 'MFr', es generado por la resultante de la fuerza 'Fr'. Esta fuerza es dependiente del ángulo 'α' y de la fuerza F. Esta fuerza se determina como:

$$(9) F = \frac{1}{2} \times P \times g$$

Dónde:

- $P = 400\text{kg}$
- $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Por lo tanto:

$$F = \frac{1}{2} \times P \times g = \frac{1}{2} \times 400 \times 9,81 = 1962 \text{ N}$$

Cierto es que cuanto mayor sea el ángulo ' $\alpha$ ', mayor será la fuerza, y por lo tanto el momento resultante.

Para nuestro caso en particular el máximo valor de ' $\alpha$ ' es 20.28°. Este dato se saca de las distancias 'L1' y 'L2'. Las cuales por orden se refiere:

- L1 = 300 mm
- L2 = 104 mm

Esto es debido a que se forma un triángulo rectángulo del cual se conoce uno de sus catetos y la hipotenusa. Y mediante el teorema de Pitágoras se obtiene.

$$(10) \quad \alpha = \sin^{-1} \left( \frac{L2}{L1} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{0,104}{0,31} \right) = 20,28^\circ$$

Por lo tanto y aplicando la fórmula (11) se obtiene:

$$(11) \quad Fr = F \times \sin 20,28 = 1962 \times \sin 20,28 = 680,04 \text{ N}$$

Una vez averiguada la fuerza 'Fr', es posible calcular el momento 'MFr', de la siguiente ecuación:

$$(12) \quad MFr = Fr \times L2 = 680,04 \times 0,104 = 70,72 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Así pues, para terminar solo se deberá hacer un sumatorio de momentos en el punto 'c' e igualar el momento 'MFr' al momento generado por el operario, el cual se define como 'Mfo'. El cual viene definido por 'Fo' Y 'L3'. Dónde 'Fo' es la fuerza realizada por el operario y 'L3' la longitud de la palanca. Así pues se tiene.

$$(13) \quad MFo = Fo \times L3$$

Dónde:

$$- \quad L3 = 600 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$(14) \quad MFr = MFo$$

Que sigue como:

$$70,72 = Fo \times 0.6 \quad ; \quad Fo = \frac{70.72}{0.6} = 117,87 \text{ N}$$

En definitiva la fuerza que deberá hacer el operario será, de 117,8 N y para ser un poco más específicos:

$$Fo = \frac{117.87}{9.81} = 12,01 \text{ Kg}$$

De esta manera, se sabe que los operarios podrán realizar la labor fácilmente y no será un problema para su propia salud, cumpliendo así los requisitos de seguridad y salud en el entorno laboral, que dicta que no es posible ejercer esfuerzos superiores a 25Kg.

Para acabar de finalizar con el apartado 10. Otros elementos de cálculo, se va a proseguir con el siguiente punto.

## 10.2 CÁLCULOS DE CILINDROS NEUMÁTICOS.

En este punto, se va a realizar una explicación de la elección del tamaño de los cilindros neumáticos en cuanto a su diámetro de émbolo, ya que este es directamente proporcional a la fuerza que aplican.

Antes de nada se debe de saber que los cálculos siguientes son para una instalación de 10bar de presión.

A partir de aquí se va a diferenciar dos tipos de conjuntos:

- Conjunto 1 = Conjunto de los cilindros superiores (4 cilindros).
- Conjunto 2 = Conjunto de los cilindros inferiores (3 cilindros).

Para el conjunto 1 se sabe que la fuerza total necesaria que deben sostener los 4 cilindros, es un total de 10.000N. Esto se divide:

- 1200N = 120kg de elementos físicos
- 8500N = Reacción que soportan debido al plegado.

De este modo y para elevar un poco la sollicitación se va a calcular sobre 10000N.

Se sabe de la fórmula de la presión (15) que:

$$(15) \quad P = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $P = 10 \text{ Bar}$
- $F = 10000\text{N}$
- $A = \text{cm}^2$

Por lo tanto:

$$A = \frac{F}{P} = \frac{10000}{10} = 100\text{cm}^2$$

Si se sabe que se dispone de 4 cilindros, se puede saber el área de uno de ellos

$$A(1) = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}^2$$

A lo que lleva:

$$(16) \quad A = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

De este modo y despejando de (16):

$$D = \sqrt{\frac{A \times \pi}{4}} = \sqrt{\frac{25 \times 4}{\pi}} = 5,64 \text{ cm}$$

Finalmente se puede determinar que los cilindros del conjunto 1 necesitan como mínimo diámetro de émbolo de 5.64mm cada uno.

Por otro lado, para el conjunto dos, las cargas son las mismas, pero el número de cilindros es inferior. De este modo la división será la siguiente.

$$A(2) = \frac{100}{3} = 33,33 \text{ cm}^2$$

Dónde y despejando de A(2):

$$D = \sqrt{\frac{A \times \pi}{4}} = \sqrt{\frac{33 \times 4}{\pi}} = 6,48 \text{ cm}$$

De esta manera es posible asegurar que los cilindros mantendrán en todo momento los elementos en la posición que se requiere y que soportarán las sollicitaciones que les atañen.

Para dar por finalizado este punto, se expondrá que los cilindros estándares seleccionados para cumplir este requisito son de:

- Para el conjunto 1: 63 mm de diámetro
- Para el conjunto 2: 80 mm de diámetro.

Al seleccionar estos diámetros de émbolos se asegura que la fuerza a realizar por los distintos cilindros sea en todo momento la necesaria.

Con este último apunte se da por concluido el apartado 10 Otros elementos de cálculo. Para proseguir se va a exponer unos de los apartados más importantes de este proyecto, se está hablando del apartado siguiente 11 Análisis por elementos finitos

## 11. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEM)

Para comenzar este apartado, se va a proceder a una breve introducción sobre los elementos finitos y sus conceptos básicos.

Este método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, estos estudios son llamados de “elementos finitos” – palabra que da nombre al método.

Dentro de estos estudios, se puede encontrar diversos tipos de estudios, generalmente, se emplean dos tipos de análisis: modelos en 2D y en 3D. Mientras los modelos en 2D conservan la simplicidad y rapidez de cálculo, el modelado en 3D, sin embargo, requiere equipos más potentes o más tiempo de cálculo. Con cada uno de estos esquemas modelados, el programador puede insertar numerosos algoritmos o funciones, que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal.

Los sistemas lineales son menos complejos y no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales tienen en cuenta las deformaciones plásticas y contactos.

En este proyecto se ha utilizado un sistema lineal y no lineal. El análisis que se va a realizar de los distintos elementos va a ser en el campo elástico ya que no queremos analizar qué pasaría si existieran deformaciones permanentes (campo plástico).

Por otro lado, se va a realizar un análisis no lineal, para la comprobación del plegado de la chapa, es decir, se usará este tipo de estudio, para comprobar si las fuerzas que se han calculado son suficientes como para realmente, doblar la chapa.

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems, elementos y nodos, se le denomina malla. Debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta, sino aproximada por este método numérico.

La precisión del ‘Método de Elementos Finitos’ depende de la cantidad de nodos y elementos y del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados de las análisis. En la Ilustración 62 - Detalle nodos y elementos se puede observar dichos nodos y elementos.

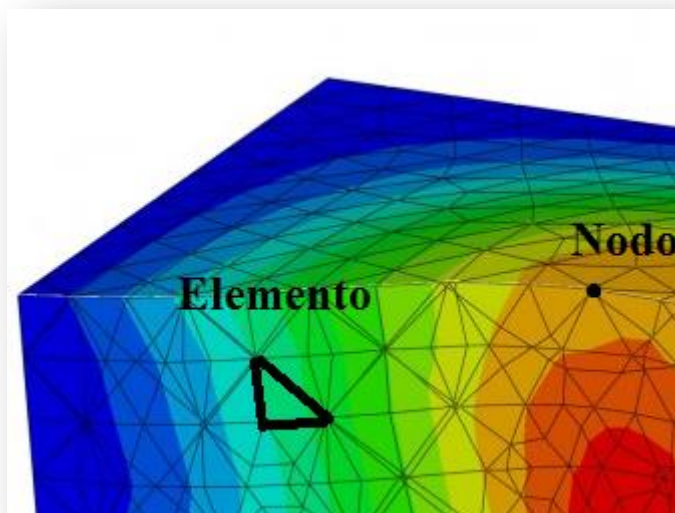


Ilustración 62 - Detalle nodos y elementos

Este método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural para la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto.

Para poder llevar a cabo este tipo de estudios, es necesario tener bien definidas distintas variables dentro del entorno de estudio, como por ejemplo, el material de la pieza o la forma de las piezas las cuales se vaya a realizar dicho estudio. Además se deberá tener en cuenta las distintas condiciones de contorno de cada elemento. Para ello será necesario determinar y marcar, las restricciones las cuales representen el problema físico al cual nos enfrentamos.

Una de las partes importantes de estos estudios es el correcto posicionamiento de las distintas restricciones, uniones, encastrados, etc. Todo ello llevará al estudio a ser lo más próximo a la realidad posible.

Bien es cierto que habitualmente en el ámbito de la ingeniería se utiliza todo tipo de simplificaciones, por tanto, aquí se deberá tener muy en cuenta estas simplificaciones.

Por otro lado, otra de las partes importantes de estos estudios es, el cómo representar y aplicar las solicitaciones que influyen a nuestro sistema, es decir, el cómo afectan las distintas cargas a nuestra pieza o piezas. Por consiguiente se deberá hacer cierto hincapié en la representación de dichas cargas y que la toma de elección de las mismas, se pueda contrastar si es posible teóricamente.

El problema principal es que si se recurre al 'Método de los Elementos Finitos', es posible que sea debido a la inexistencia de fórmula o capacidades teóricas para explicar un problema.



En este proyecto se ha recurrido a este tipo de estudios, debido a la inexistencia de fórmulas matemáticas capaces de representar el problema a solucionar.

En el apartado que nos atañe se va a detallar paso por paso cada estudio realizado a los distintos componentes, se va a mostrar el material de cada componente y la forma de éste. También se va a mencionar el tipo de unión que existe entre ellos, así como, todas las restricciones que se han aplicado a cada elemento y por qué. Por otro lado se va a exponer y explicar las distintas cargas aplicadas a cada elemento y a todos los conjuntos.

Todo esto se puede consultar en los siguientes apartados. El primero de ellos será del cual partan todos los demás, ya que de este se obtendrán solicitaciones que afectará a los siguientes.

## 11.1 ANÁLISIS ESTÁTICO PISADOR Y SUJECIONES

En estos apartados se va a realizar una explicación exhaustiva y detallada de todas las acciones realizadas sobre los ensamblajes y las distintas piezas que lo componen. Todo ello para realizar un correcto estudio de elementos finitos. Para comenzar se va a mostrar una ilustración en la cual se va a observar un detalle general de todas las cargas y de las posiciones de las distintas piezas. El ensamblaje completo se puede observar en la Ilustración 63 - Ensamblaje completo FEM así como algunos detalles de esfuerzos y restricciones.

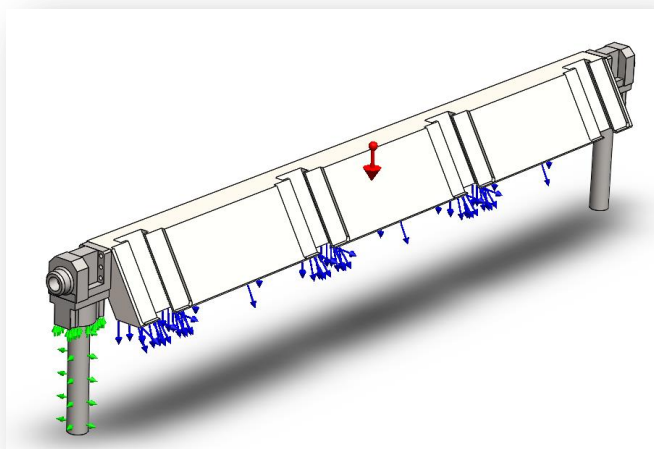


Ilustración 63 - Ensamblaje completo FEM Pisador

Para comenzar se va a detallar los elementos que componen este ensamblaje, así como, el material y todas sus especificaciones.

### 11.1.1 ELEMENTOS

Para comenzar se mostrará la Tabla 10 - Detalle de elementos, donde se puede observar todos los detalles de los distintos elementos. Para consultar la forma de estos más detalladamente se puede consultar el apartado 8.2 Pisador y Sujeciones.

**Tabla 10 - Detalle de elementos**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	Lim. Elástico ( $\sigma_y$ )(MPa)	Módulo elástico (E)(MPa)	Densidad ( $\rho$ )( $\frac{Kg}{m^3}$ )	Módulo de Poisson	Módulo cortante (MPa)
Pisador	EN-JS105	145.594	120000	7250	0.26	6500
Cilindro guía	F1110	380	210000	7850	0.28	79000
Soporte cilindro guía	F1110	380	210000	7850	0.28	79000
Apoyo cilindro guía	F1110	380	210000	7850	0.28	79000

Una vez conocidos estos datos, se va a proceder con la explicación de las conexiones entre los elementos.

### 11.1.2 CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS.

Para este ensamblaje se ha utilizado la conexión con contacto global de unión rígida. Esto se ha decidido así para simplificar todos los estudios. De todos modos, todas las piezas se han diseñado para que se comporten de forma casi solidaria. En este caso se tiene tres contactos entre piezas, las cuales se van a enumerar:

- Contacto 1: Pisador y soporte cilindro guía.
- Contacto 2 : Soporte cilindro guía y apoyo cilindro guía
- Contacto 3: Apoyo cilindro guía y cilindro guía

Estos tres contactos se han establecido como contacto global de unión rígida, pero se va a explicar las soluciones dadas para que este tipo de contacto sea de los más adecuados.

#### Contacto 1: Pisador y soporte cilindro guía

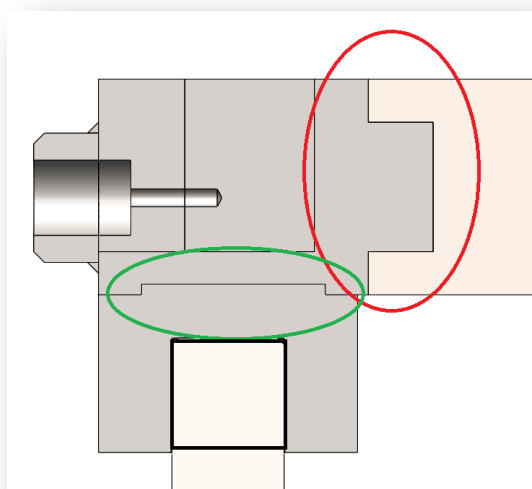
Para este tipo de contacto, se ha realizado desde el diseño inicial de la pieza un encastre, el cual permite introducir una dentro de otra para mejorar ese tipo de contacto.

Además facilita el montaje y las características mecánicas, ya que ambas piezas permanecen prácticamente solidarias. En la Ilustración 64 - Detalle encastre se puede diferenciar en rojo, el encastre realizado entre las distintas piezas.

Esto hace que junto con los tornillos, se obtenga un ensamblaje muy resistente.

### **Contacto 2: Soporte cilindro guía y apoyo cilindro guía**

Este contacto funciona igual que el anterior, como se observa en la Ilustración 64, marcado en verde, se diferencia el encastre entre piezas, de nuevo, esta unión permite que los tornillos no sufran tanto, y que el sistema sea mucho más rígido entre sí



**Ilustración 64 - Detalle encastre**

Por último y para finalizar los tipos de contactos, a continuación.

### **Contacto 3: Apoyo cilindro guía y cilindro guía**

Este tercer y último tipo de contacto es un contacto entre roscas. El cilindro guía dispone de una rosca en la punta, la cual se introduce en el apoyo del cilindro guía para mantenerlos unidos de forma solidaria. En la Ilustración 64, se puede observar en el recuadro negro, la situación de dicha rosca.

En definitiva, con estos tres tipos de uniones, se consigue simular en gran medida la unión rígida entre componentes. De esta manera nuestro estudio de elementos finitos se aproxima mucho más a la realidad.

Para continuar se da paso al siguiente punto, en el cual se mostrará las restricciones del sistema.

### 11.1.3 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

En este apartado se detallará todo lo referido a las restricciones del sistema.

Para comenzar, es posible distinguir entre dos tipos de conexiones en este ensamblaje en concreto.

La primera es la llamada, sujeción sobre caras cilíndricas. En la Ilustración 65, se observa la ventana de la cual se puede seleccionar dicha restricción.

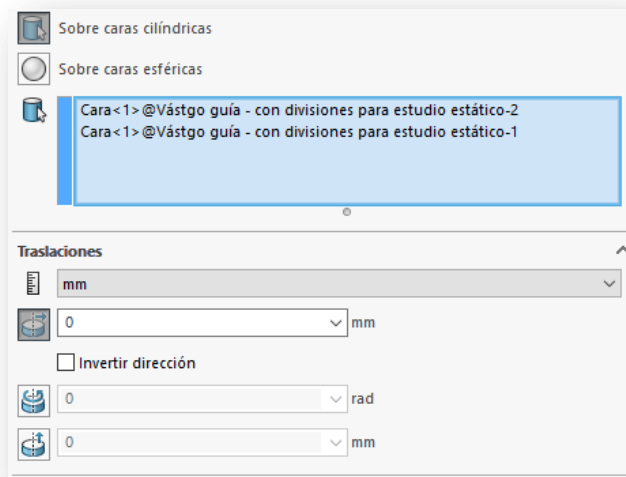


Ilustración 65 – Sujeción sobre caras cilíndricas

En esta ilustración se puede observar que se ha seleccionado el icono de sobre caras cilíndricas situado arriba a la izquierda de la ilustración. Al pinchar en dicho botón, se abre el recuadro más abajo. En este recuadro, se selecciona las caras cilíndricas que se quiere restringir. Una vez seleccionadas las caras, se tiene, tres opciones de restricción. Cada una de ellas, restringe el movimiento en algún sentido. Si se nombran de orden ascendente a descendente según la Ilustración 65 – la primera, restringe el movimiento radial de nuestro cilindro. La segunda, restringe el giro y rotación. Y la tercera, permite el movimiento axial.

Cualquiera de estas tres, se puede combinar con las demás. Si se selecciona una, que en el caso que nos atañe es la primera, se debe de seleccionar los milímetros que se quiere dar de movimiento, es decir. Si se quiere que no se mueva nada, se deberá de seleccionar cero. Sí por el contrario se quiere restringir el movimiento, pero, en un rango determinado, se deberá seleccionar, por ejemplo, 5 milímetros.

Como se observa en dicha ilustración, en el caso del estudio se ha seleccionado cero, y las otras casillas, no se han marcado. De este modo se obtiene restricción solo en el movimiento radial, pero los otros dos tipos de movimiento quedan libres.

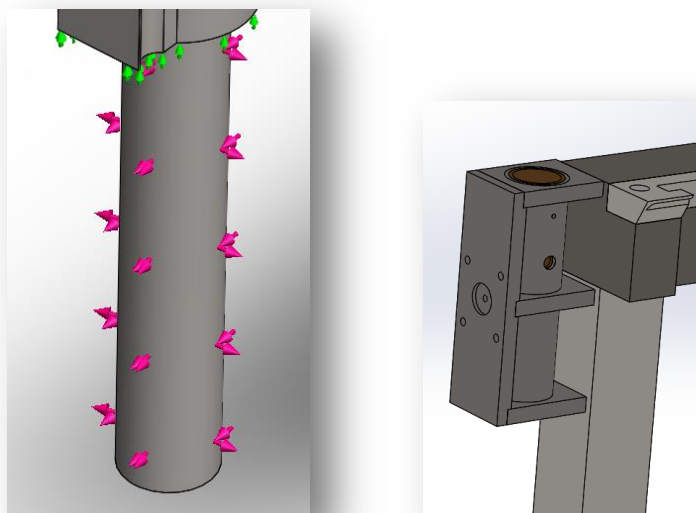


Ilustración 66 - Restricción radial

En la Ilustración 66 - Restricción radial, se puede observar, el resultado en color magenta. Estas flechas determinan y representan la limitación de movimientos radiales en el cilindro guía. Además se puede observar que se quiere representar la unión entre el cilindro guía y la bancada.

La segunda restricción la cual se ha usado para este estudio, es la llamada geometría de referencia. Esta restricción, limita el movimiento, según una geometría de referencia, en nuestro caso una cara plana de una de las piezas del ensamblaje. En la Ilustración 67 - Restricción geometría referencia, se observa, como se hizo con la anterior restricción, la ventana de la cual se dispone para definir la restricción.

En primer lugar se ha seleccionado la casilla de, utilizar geometría de referencia. Como se puede observar en distinción con la anterior geometría, ahora, se dispone de dos recuadros, uno con detalle azul, y otro con detalle rosa. Esto es debido a que en esta restricción se debe seleccionar las caras que se quiere restringir (detalle en azul) y la cara que va a dar dirección a esa restricción.

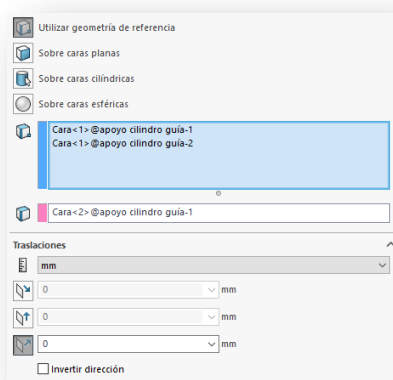


Ilustración 67 - Restricción geometría referencia

Cabe señalar, que como se observa en la Ilustración 67 - Restricción geometría referencia, debajo de los recuadros se observa una palabra ‘traslaciones’ y seguida de ella, se tiene tres recuadros. Estos recuadros determinan las tres direcciones las cuales tiene la cara seleccionada.

De nuevo y como en la anterior restricción se deberá seleccionar, la amplitud de la restricción. Si se quiere que no exista movimiento se marca 0 mm, sin embargo si se quiere que en una dirección haya movimiento, se marca por ejemplo 3 mm.

En este caso, se ha marcado la dirección que convenía y se ha elegido cero. Las otras casillas, no se han marcado, porque se quiere que en estas direcciones haya total libertad de movimientos. El claro ejemplo de esta restricción que se ha seleccionado, es la de un vaso apoyado en una mesa. Tiene dos direcciones libres y una restringida.

En la Ilustración 68 - Detalle restricción, se muestra en verde el resultado de la restricción. Así como, la cara usada como geometría de referencia en rosa y la cara restringida en azul.

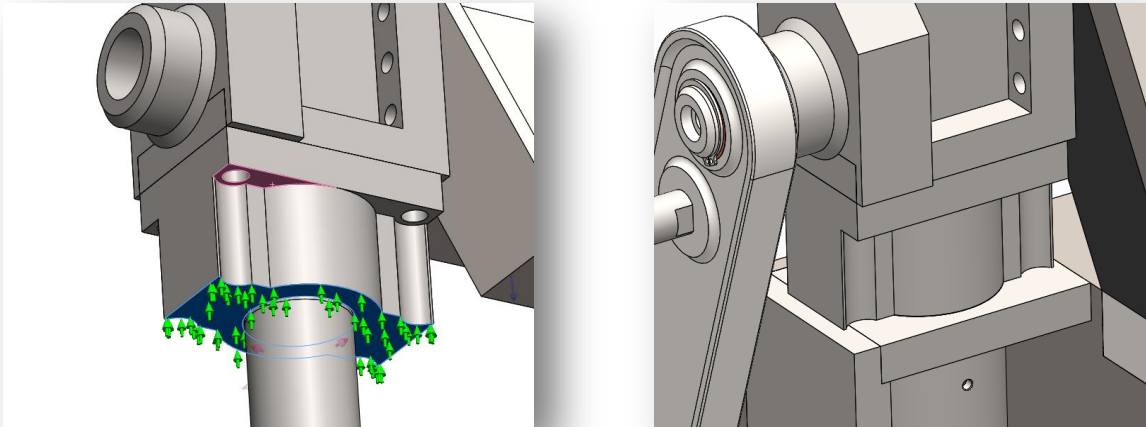


Ilustración 68 - Detalle restricción

Por otro lado se puede observar claramente que esta restricción representa el apoyo que hay entre la bancada y el apoyo del cilindro guía. Una vez baja el pisador y se fija con el pasador, esta presiona la chapa y hace contacto con la bancada permitiendo este apoyo para restringir el movimiento en esta dirección.

Debido a que este elemento es simétrico, ambas restricciones se aplican a ambos lados del montaje.

En definitiva, estas dos restricciones son las necesarias para interpretar el estado físico de este estudio por elementos finitos.

Para continuar se va a detallar las cargas aplicadas en este sistema.

### 11.1.4 ESFUERZOS APLICADOS

Como inicio de este punto, se va a comentar que todo este proyecto se ha basado en el cálculo de la fuerza de plegado, en este caso un par torsor. Para ello se ha aplicado una hipótesis de cálculo, nombrada en el apartado 9 Teoría del plegado. En dicho apartado se llega a varias conclusiones las cuales son usadas para el cálculo de este estudio. La sollicitación usada en este estudio ha sido el momento de inercia necesario para sobrepasar el límite de fluencia de una sección rectangular.

El valor de este momento es de  $118,125 \text{ N} \cdot \text{m}$ , pero, para corroborar una correcta resistencia de los elementos, la carga, se ha mayorado hasta los  $180 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Por consiguiente el momento aplicado a este ensamblaje ha sido de esta cantidad.

En este tipo de estudios por elementos finitos, se pueden aplicar gran cantidad de tipos de cargas, pero en el caso que nos atañe, solo ha sido necesaria la aplicación de un tipo de carga, un par torsor.

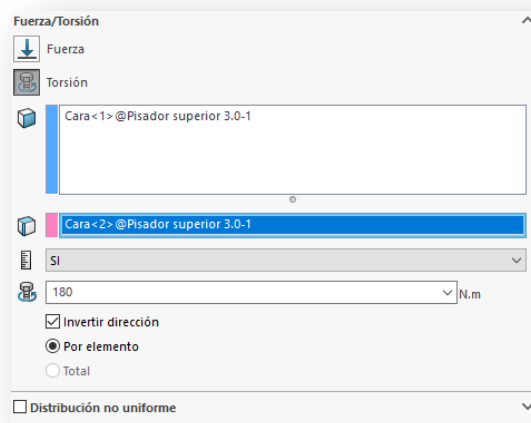


Ilustración 69 - Ventana Fuerza/Torsión

En la Ilustración 69, se puede observar la ventana para seleccionar el esfuerzo que se va a simular.

Para comenzar se debe seleccionar si se requiere de una fuerza o de una torsión, en este caso, se sabe que se necesita una torsión. Una vez se seleccionado el botón de torsión en la esquina superior izquierda de la ilustración, se continua con los siguientes dos recuadros. En el recuadro con el detalle azul, se selecciona la cara en la cual va a estar aplicada la torsión. En el recuadro con el detalle rosa se selecciona el eje de giro de esta torsión, más abajo se cuantifica dicha carga, y la dirección que se requiere.

Una vez se aceptan estos datos, se puede ver lo que se muestra en la Ilustración 70, una representación mediante flechas azules de la carga que se acaba de aplicar. También, se observan las caras en azul y en rosa.

La cara en azul es en la cual el momento esta aplicado, y la rosa es la cara según este aplicado dicho momento. Dicho de otra manera, se tiene una torsión aplicada en la cara en azul en sentido antihorario, según la cara rosa.

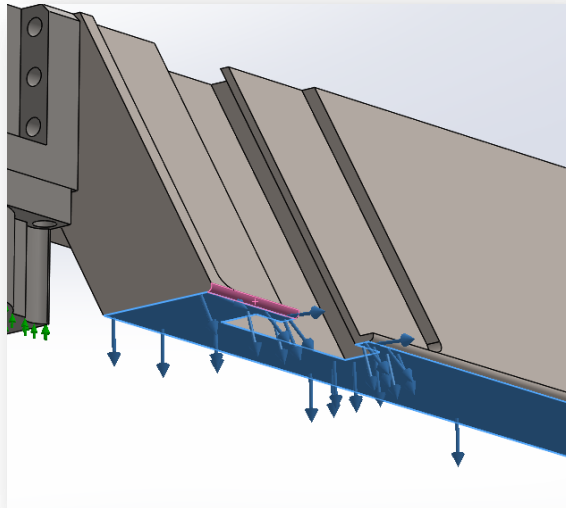


Ilustración 70 - Detalle torsor

Por otro lado y otra de las cargas que actúan en todos los estudios estáticos y en consiguiente en este también, es la de la gravedad. La elección de dicha carga es muy sencilla. Para entender de una forma simple, sólo se tiene que observar la Ilustración 71. En dicha ilustración se puede observar un recuadro con un detalle azul. Este recuadro identifica la referencia en la cual se va a aplicar la carga gravitacional de una forma perpendicular a esta cara o plano. Como se aprecia simplemente se ha seleccionado la planta y la dirección. De este modo ya está aplicada la carga de la gravedad.

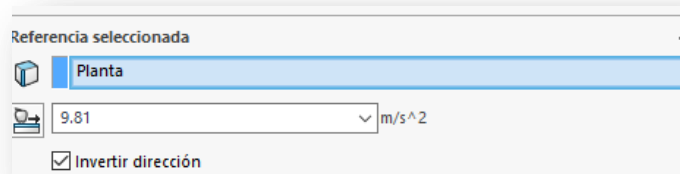


Ilustración 71 - Asignación carga de la gravedad

Finalmente y una vez se tienen todas las cargas aplicadas y todas las restricciones totalmente definidas, ya solo queda generar la malla.

Para explicar este elemento se debe continuar con el siguiente apartado



### 11.1.5 MALLADO Y EJES DE COORDENADAS

En éste apartado se va a realizar una explicación sobre el mallado, además se van a referenciar los ejes de coordenadas de nuestro sistema, para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos en los estudios estáticos.

En la Ilustración 72, se puede observar claramente la selección del tipo de malla empleada.

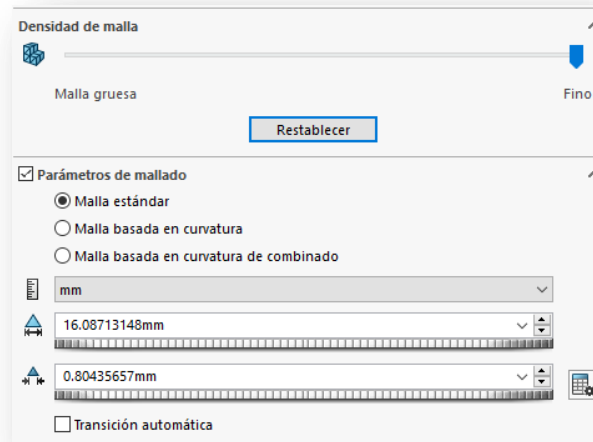


Ilustración 72 - Mallado

Se ha usado una malla fina y estándar. Bien es cierto que existen varias posibilidades, pero para el caso que nos atañe no es necesario. Así pues, la malla seleccionada es la que se observa en dicha ilustración.

El resultado del mallado se puede observar en la siguiente Ilustración 73 - Detalle final mallado.

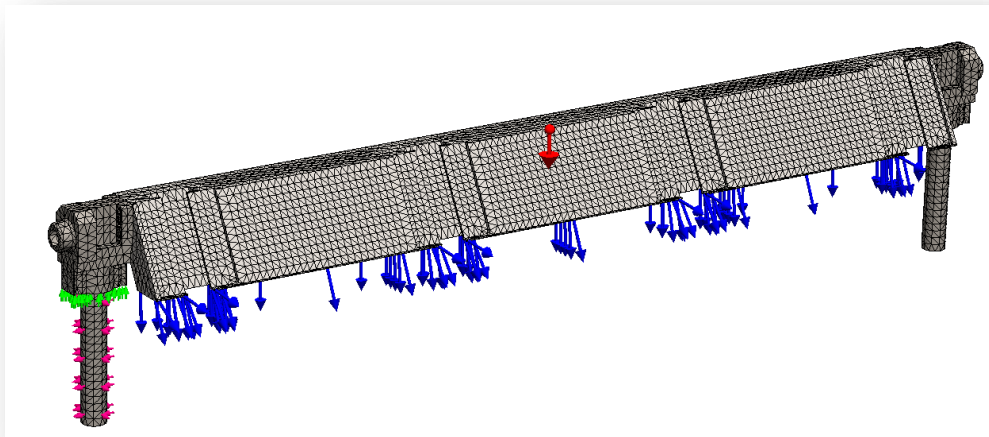


Ilustración 73 - Detalle final mallado

Una vez se ha realizado el mallado, se puede continuar con la ejecución del análisis. A partir de aquí se analizarán todos los resultados obtenidos y se podrá comprender mejor como va a reaccionar nuestro diseño a las cargas y sollicitaciones aplicadas a él.

Por último y para poder interpretar bien los resultados, si se observa la Ilustración 74 - Ejes de coordenadas, se puede observar los ejes de coordenadas.

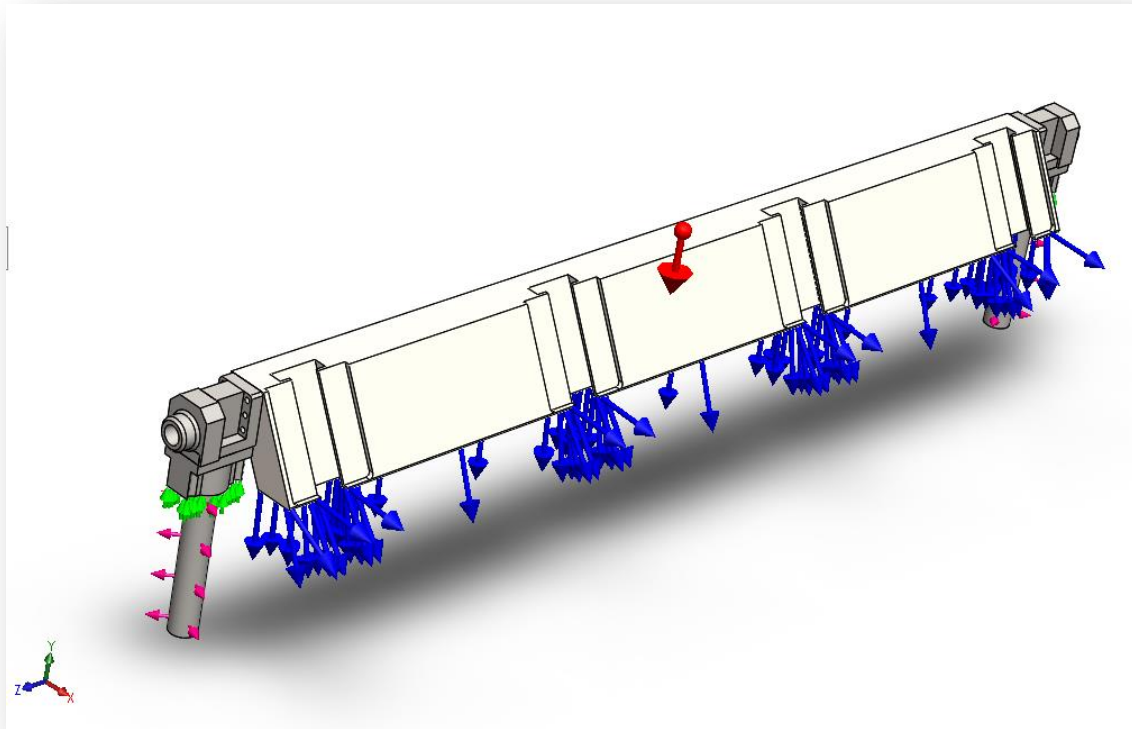


Ilustración 74 - Ejes de coordenadas

El eje 'X', es el de color rojo formando un ángulo de  $90^\circ$  con los cilindros guía. El eje 'Y', es el de color verde, el cual está en la dirección de la gravedad, marcada por una flecha roja en el centro del pisador. Por último se observa el eje 'Z' en color azul, situado de forma perpendicular a la gravedad, es decir, formando  $90^\circ$  con el eje 'Y'.

Finalmente y una vez determinado todos los parámetros de mallado y además de conocer los ejes de coordenadas del ensamblaje, el estudio estático está definido por completo. De este modo ya es posible su ejecución.

En los apartados siguientes se interpretarán y explicarán los distintos resultados del estudio.

### 11.1.6 RESULTADOS FINALES

En este apartado, se va a interpretar los resultados obtenidos mediante el análisis estático, los resultados principales que se va a mostrar, van a ser los siguientes:

- Tensión equivalente de Von Mises
- Desplazamientos en 'X'
- Desplazamientos en 'Y'
- Desplazamientos en 'Z'
- Resultante de desplazamientos
- Reacciones en los componentes en los tres ejes.

Se va a comenzar por una explicación sobre la tensión equivalente de Von Mises.

#### TENSIÓN EQUIVALENTE DE VONMISES

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales  $s_1$ ,  $s_2$  y  $s_3$ , la tensión de vonMises se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{vonMises} = \left\{ \frac{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]}{2} \right\}^{1/2}$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.

Por lo tanto, la tensión de Von Mises, es una tensión equivalente que nos combina las tres tensiones principales, equiparándolas al límite elástico, de esta manera es un criterio para comparar los resultados correctamente.

En la Ilustración 75 - Tensión de vonMises Pisador, se puede observar la representación de la tensión de vonMises en el sistema, se ha marcado un valor máximo de 30.81MPa, si se sabe que el límite elástico de este material es 145, 594 MPa, se puede saber que el material no sufre ninguna acción plástica y que trabaja en rango elástico.

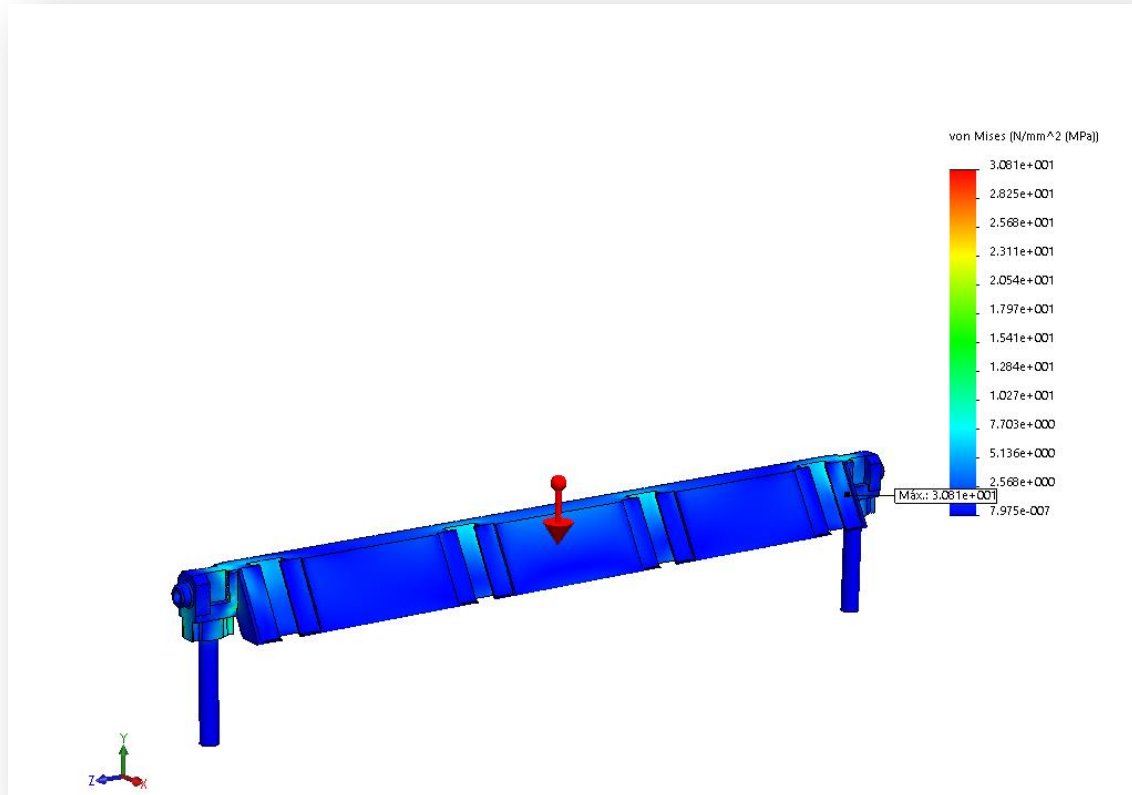


Ilustración 75 - Tensión de vonMises Pisador

Una vez mostradas la tensión equivalente según vonMises, se va a proceder a interpretar los desplazamientos en todos los ejes y los resultantes.

## DESPLAZAMIENTOS EN 'X'

Como se ha comentado anteriormente en el punto 11.1.5 Mallado y Ejes de coordenadas, los desplazamientos en el eje 'x', son en la dirección que hace 90° con los cilindros guía. En la Ilustración 76 - Desplazamientos 'x' en pisador, se puede observar la anotación de desplazamiento mínimo, este desplazamiento está situado en el centro del pisador y es de -0.1125 mm, de este modo se puede asegurar que cumple con los requisitos de diseño, punto 6 Requisitos de Diseño, donde se establece que la flecha máxima del pisador no puede ser superior a 0.25 mm en ninguno de los ejes del pisador.

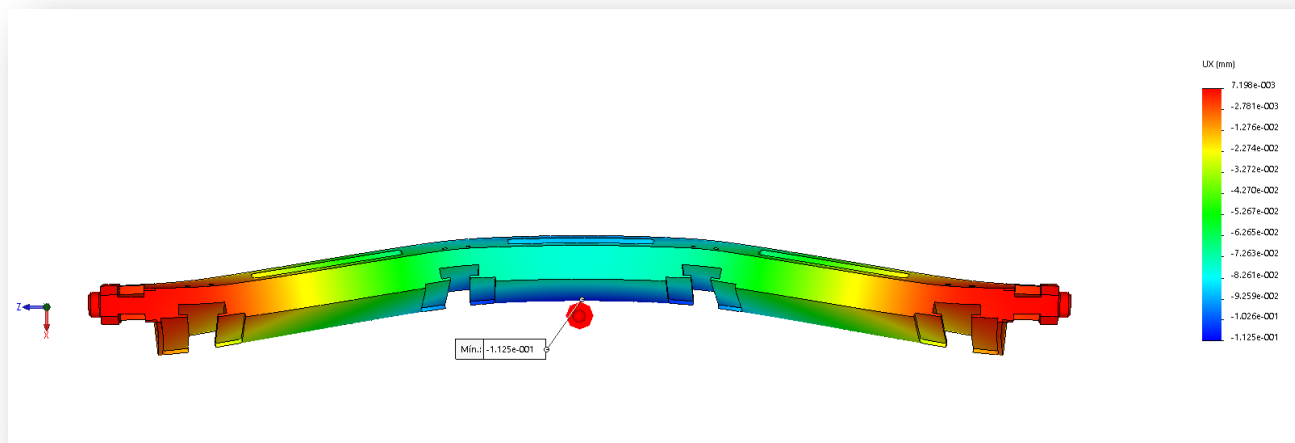


Ilustración 76 - Desplazamientos 'x' en pisador

Se sigue con los desplazamientos en 'Y'

#### DESPLAZAMIENTOS EN 'Y'

De nuevo, como se ha comentado anteriormente en el punto 11.1.5 Mallado y Ejes de coordenadas, los desplazamientos en el eje 'y', son en la dirección paralela con los cilindros guía. En la Ilustración 77, se puede observar la anotación de desplazamiento máximo, este está situado en el centro del pisador y es de -0.1899 mm, de este modo se puede asegurar que cumple con los requisitos de diseño, punto 6 Requisitos de Diseño, donde se establece que la flecha máxima del pisador no puede ser superior a 0.25 mm en ninguno de los ejes del pisador.

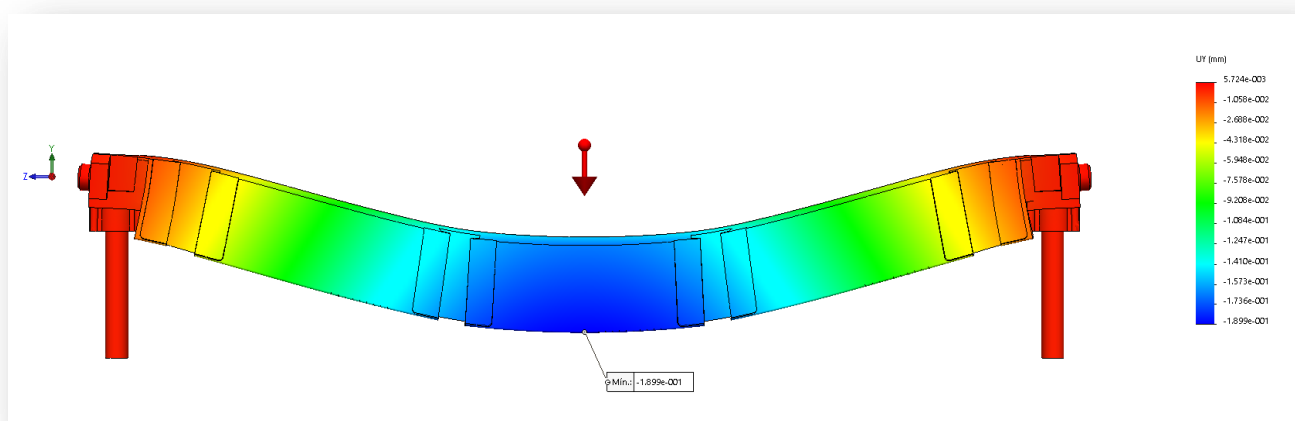


Ilustración 77 - Desplazamientos 'Y' en pisador

Se continúa con los desplazamientos en 'z'

### DESPLAZAMIENTOS EN 'Z'

Otra vez, como se ha comentado anteriormente en el punto 11.1.5 Mallado y Ejes de coordenadas, los desplazamientos en el eje 'z', son en la dirección paralela al eje longitudinal del pisador, se puede decir que estos desplazamientos no son tan relevantes como los de los anteriores ejes, de hecho se va a poder observar en la Ilustración 78, dos anotaciones. Una del desplazamiento máximo y otra del desplazamiento mínimo. Se observa que ambas son iguales aunque de distinto signo, esto es debido a que el desplazamiento es simétrico. Además también se puede observar que estos desplazamientos, son inferiores a los anteriores. Con un valor de  $\pm 0.02172$  mm, se ve claramente que no son significantes.

De este modo se puede asegurar que cumple con los requisitos de diseño, punto 6 Requisitos de Diseño, donde se establece que la flecha máxima del pisador no puede ser superior a 0.25 mm en ninguno de los ejes del pisador.

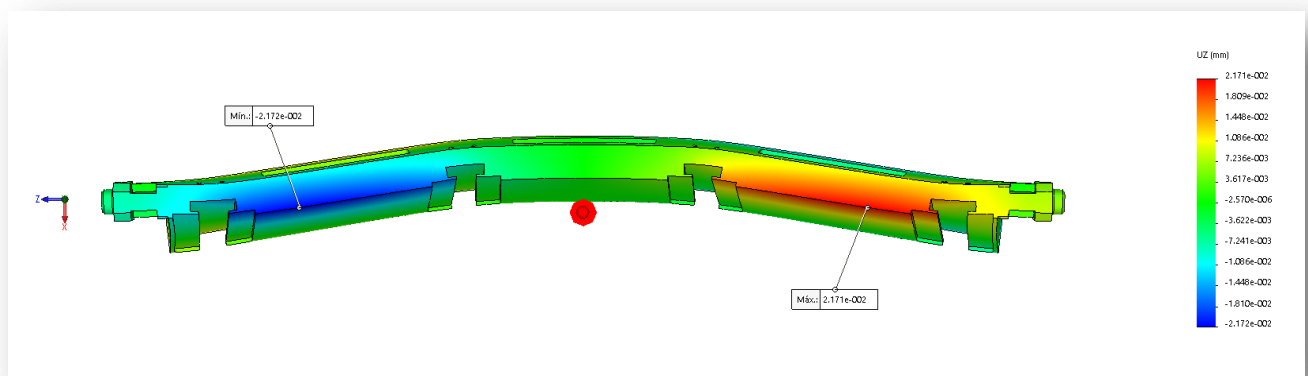


Ilustración 78 - Desplazamiento en 'Z' en pisador

Para finalizar con los desplazamientos se van a agrupar todos en el punto siguiente.

### RESULTANTE DE DESPLAZAMIENTOS.

Para finalizar este apartado de desplazamientos, se va a mostrar la resultante de todos los desplazamientos antes mencionados. Como se sabe esta resultante es una combinación de las tres y dará un resultado combinado de todos los desplazamientos. Para poder apreciar mejor el desplazamiento combinado, se puede observar en las siguientes ilustraciones; Ilustración 79, Ilustración 80, Ilustración 81 la combinación de resultados desde distintos puntos de vista.

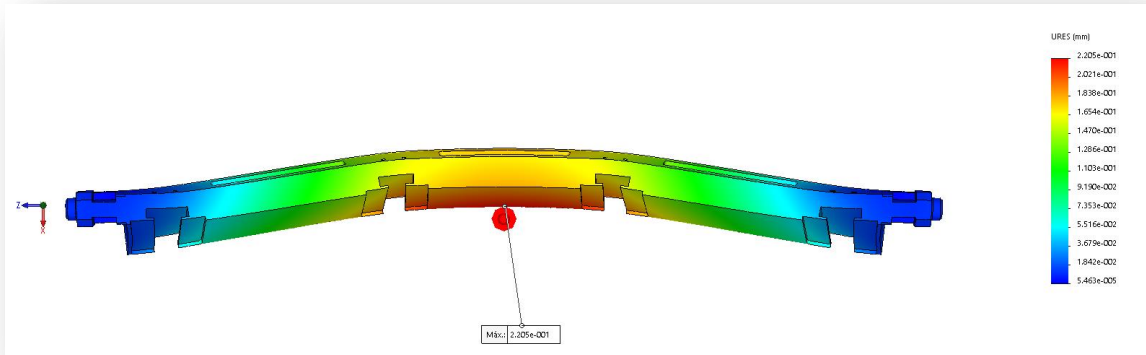


Ilustración 79 - Desplazamiento resultante - vista 'X' -

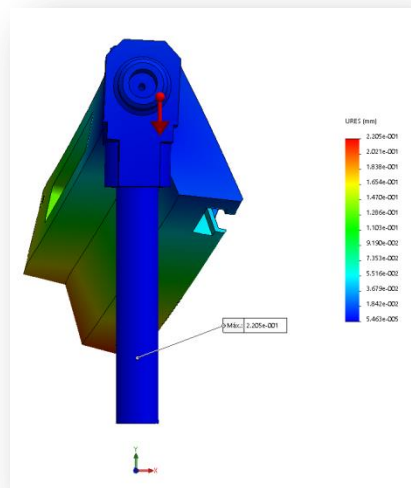


Ilustración 80 - Desplazamiento resultante - vista 'Y' -

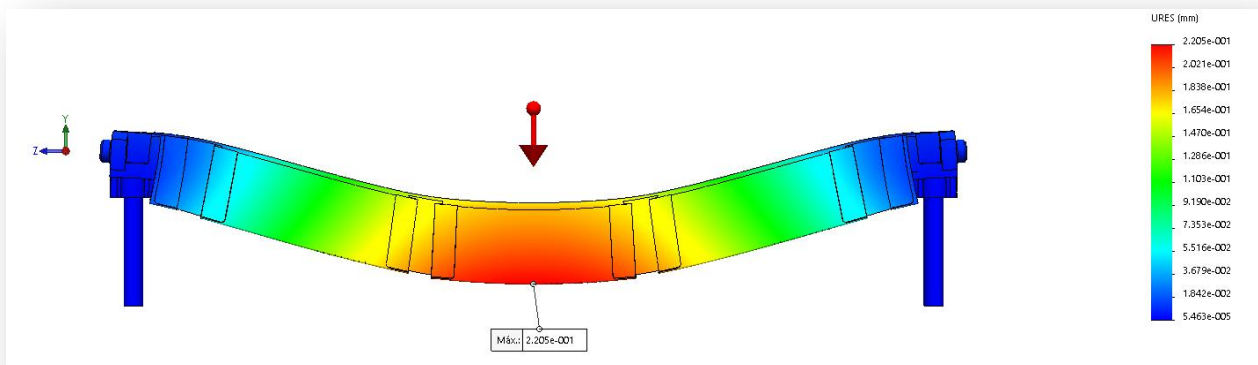


Ilustración 81 – Desplazamiento resultante – Vista 'Z' -

Como ya se esperaba, la resultante es superior a los distintos desplazamientos. La resultante tiene un valor de 0.2205 mm, lo que sigue corroborando, que es menor que 0,25 mm como se ha indicado en el punto 6 Requisitos de Diseño. De esta manera se puede decir que el diseño de los elementos cumpliría con los requisitos de elasticidad y resistencia de materiales.

Para concluir con este apartado 11.1 Análisis estático pisador y sujeciones, se va a mostrar todas las fuerzas resultantes las cuales se van a transmitir a los distintos elementos, como la bancada.

## REACCIONES RESULTANTES

En este apartado se va a mostrar las reacciones que se obtienen de este estudio estático. Estas acciones, se van a transformar en cargas para el siguiente análisis estático, en concreto el de la bancada.

En este estudio estático, el único elemento en el cual interesa saber las reacciones es en el cilindro guía. Esto es debido a que mediante la camisa del cilindro, transmite los esfuerzos a la bancada. De esta manera es necesario saber las reacciones en los tres ejes para este sistema. Además como este sistema es simétrico las cargas deben ser las mismas para ambos lados.

En caso de que el análisis de cargas distintas, se va a coger la mayor para todos los casos, de esta manera se puede asegurar que el sistema va a cumplir los requisitos mecánicos de resistencia y estabilidad.

Como se puede observar en la Ilustración 82 - Reacciones cilindro guía, las fuerzas resultantes solo se establecen en el eje 'x' y el eje 'z', esto es debido a que cuando se ha planteado las restricciones según el punto 11.1.3 Restricciones del sistema, ese eje se ha dejado como grado de libertad sobre esta pieza.

También se observa que como se esperaba las cargas son simétricas. El resumen de fuerzas quedaría:

- $F_x = 317 \text{ N}$
- $F_z = 2230 \text{ N}$

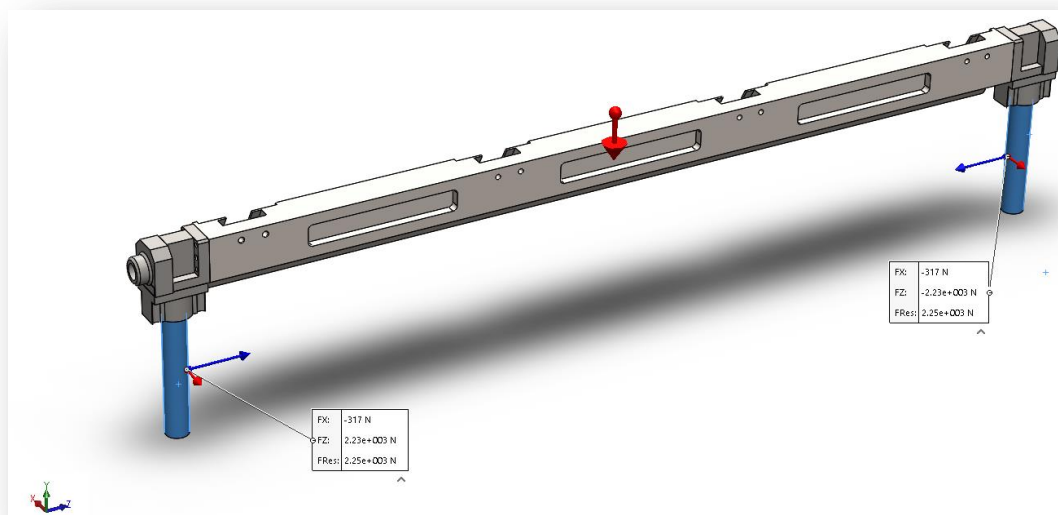


Ilustración 82 - Reacciones cilindro guía



Al ver estas reacciones lo que se puede sonsacar, es que según nuestro esfuerzo, el momento aplicado, quiere ‘abrir’ los cilindros, y ‘empujar’ hacia adelante nuestra máquina.

Por otro lado, si se buscan las reacciones en la pieza apoyo cilindro guía, la cual se puede observar en la Ilustración 41, se dispone de reacciones solo en un eje. Este eje es el eje ‘y’, esta pieza solo tiene restringido ese eje. Esas reacciones se puede observar en la Ilustración 83, donde también se observa la magnitud de esta.

En definitiva si se compila las tres fuerzas de reacciones que brinda el estudio estático, quedaría de la siguiente forma.

- $F_x = 317 \text{ N}$
- $F_z = 2230 \text{ N}$
- $F_y = 3440 \text{ N}$

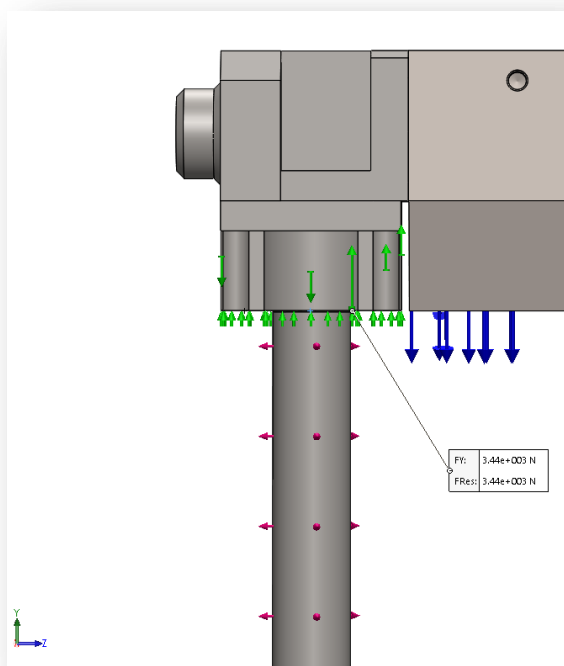


Ilustración 83 - Reacciones apoyo cilindro guía

Estos esfuerzos están aplicados a cada lado del pisador. De este modo ya se tiene las fuerzas resultantes para poder continuar con el estudio. Ahora estas fuerzas se deberán transmitir a la bancada para poder conseguir que el sistema sea lo más parecido a la realidad.

Una vez se han mostrado las reacciones, se va a continuar con el siguiente elemento estudiado por elementos finitos. Además este elemento depende de estas reacciones. Dicho elemento es la bancada, a continuación todos los detalles, en el siguiente apartado

## 11.2 ANÁLISIS ESTÁTICO BANCADA

En este apartado se va a explicar el estudio estático que se ha realizado a la bancada, se va a mostrar todos los elementos que la forman y sus características. Además se va a realizar una explicación de las solicitaciones las cuales se han aplicado a este sistema, así como, las distintas restricciones que se han usado para definir la zona de control.

También se van a mostrar los desplazamientos, tensiones y reacciones de este ensamblaje.

En la Ilustración 84, se puede apreciar una vista general de las cargas y las restricciones, las cuales van a ser explicadas en los apartados siguientes.

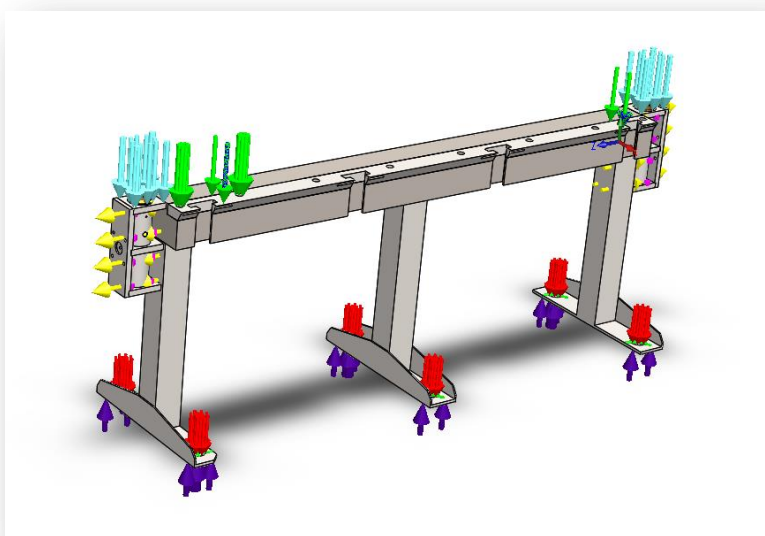


Ilustración 84 - Ensamblaje completo FEM Bancada

Una vez mostrada dicha imagen, se comienza con el siguiente apartado.

### 11.2.1 ELEMENTOS

Para comenzar se mostrará la Tabla 11 - Resumen elementos bancada, donde se puede observar todos los detalles de los distintos elementos. Para consultar la forma de estos más detalladamente se puede consultar el apartado 8.2 Pisador y Sujeciones.

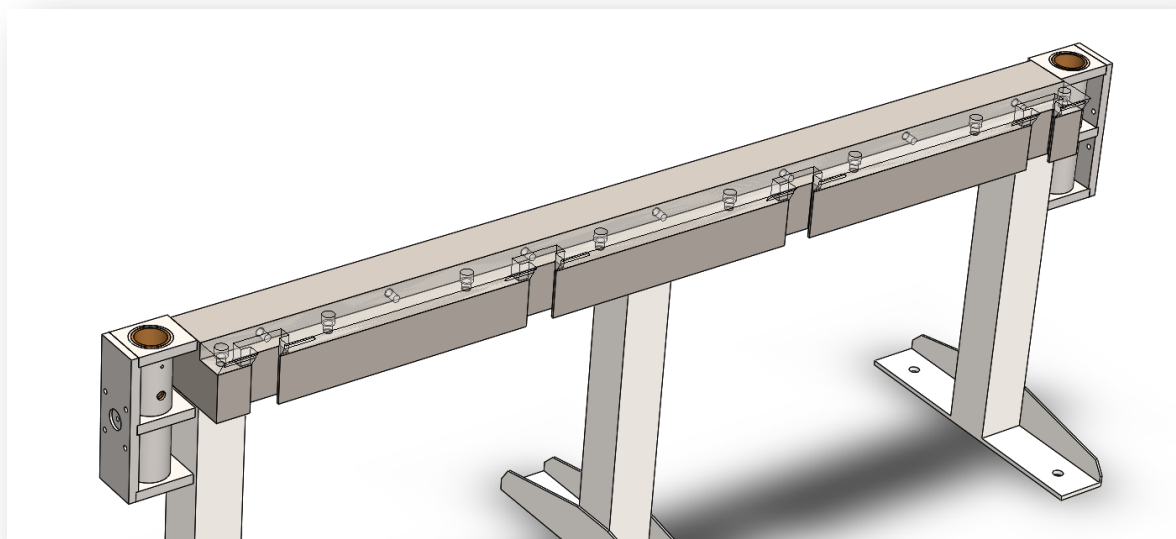
**Tabla 11 - Resumen elementos bancada**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	Lim. Elástico ( $\sigma_y$ )(MPa)	Módulo elástico (E)(MPa)	Densidad ( $\rho$ ) $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	Módulo de Poisson	Módulo cortante (MPa)
Base guiada	EN-JS105	145.59Mpa	120000	7250	0.26	6500
Patas	S235JR	275Mpa	210000	7800	0.28	79000
Subensamblaje cilindro guía	F1110	380Mpa	210000	7850	0.28	79000
Punta endurecida	F1260	1050Mpa	210000	7800	0.28	79000

Una vez visualizado el resumen de los elementos, se va a proceder al siguiente punto.

### 11.2.2 CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS

De nuevo como en el punto anterior, para simplificar los estudios, se ha decidido usar contando global entre componentes, en este caso todos los componentes están soldados entre sí, por lo tanto es correcto esa premisa, excepto la punta endurecida. Esta debe de poder desmontarse para poder sustituirse. De todos modos, a la base guiada, se le ha realizado un rebaje para que esta coincida perfectamente. Además se ha utilizado una distribución de tornillos en dos planos para repartir todos los esfuerzos posibles.

**Ilustración 85 - Distribución de tornillos**

En la Ilustración 85 , se observa como la punta endurecida se ha puesto en modo transparente, y se observan todos los tornillos totalmente repartidos a lo largo de toda la punta endurecida. También es posible observar el rebaje de la base guiada. Por eso mismo, se ha decidido mantener el contacto global entre componentes.

Por otro lado de nuevo, todos los demás elementos son soldados entre sí.

Para continuar, se va a exponer las restricciones del sistema.

### 11.2.3 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

Este apartado, como en el anterior, 11.1.3 Restricciones del sistema, se van a determinar las condiciones de contorno del sistema, bien es cierto, que se puede presuponer que en este ensamblaje solo existirá una restricción. Pero, la restricción que generaría un tornillo, en este caso los pernos de anclaje al suelo, no se representa exactamente. Para ello, se ha conseguido una simulación compatible a como trabajaría los tornillos.

Para simular el amarre de los tornillos al suelo, lo primero necesario es el cálculo d el esfuerzo máximo que pueden transmitir los tornillos. En este caso.

$$(17) \quad Dn = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \sigma}}$$

Dónde:

- Dm = Diámetro nominal de la varilla (20mm)
- F = Fuerza máxima
- $\sigma$  = Esfuerzo de tracción permisible. Tornillo 8.8 =  $800 \frac{N}{mm^2}$

Por lo tanto si despejamos 'F'

$$F = \frac{\sqrt{20} \times \pi \times \sigma}{4} = 2809,93 \text{ N}$$

Una vez se sabe la fuerza máxima que puede soportar dicho tornillo. Ya es posible comenzar con la restricción.

Lo primero que se ha realizado ha sido una división en la pieza para simular la arandela del tornillo, esto es debido, a que cuando se aprieta el tornillo sobre la arandela, aumenta la superficie de presión, ya que el tornillo presiona la arandela y esta la pieza.

Sobre esta superficie que queda libre, se ha aplicado una fuerza de 2500N. Se elige esta cantidad, debido a que no se quiere sobrepasar el límite del tornillo.

Por otro lado, se aplica una restricción, de geometría de referencia, como se puede observar en la Ilustración 67 - Restricción geometría referencia, se selecciona las caras que irían apoyadas sobre el suelo, y aplicamos una restricción de geometría de referencia, para limitar el movimiento en este sentido.

De nuevo, se puede volver al ejemplo del vaso de agua apoyado en una mesa.

Para finalizar, se selecciona las caras internas de los taladros pasantes y se aplica de nuevo una restricción de sujeción sobre caras cilíndricas. Esta restricción se puede observar en la Ilustración 65 – Sujeción sobre caras cilíndricas. De esta manera se simula el cuerpo del tornillo, el cual no permite que la máquina se mueva en el plano del supuesto suelo.

Todas estas fuerzas i restricciones se pueden observar en la Ilustración 86 - Restricciones anclaje mediante perno. Si se distinguen mediante colores, se observa lo siguiente:

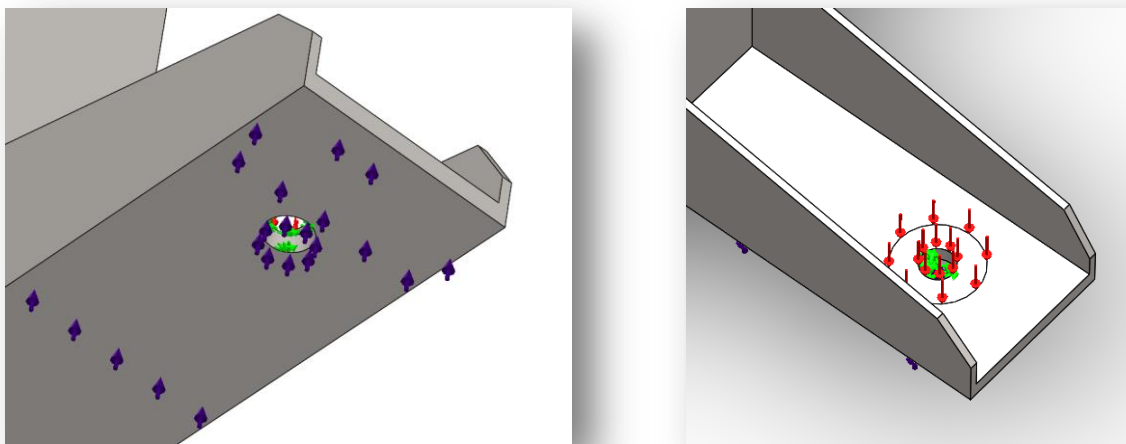


Ilustración 86 - Restricciones anclaje mediante perno

- **Morado:** Restricción de geometría de referencia (suelo)
- **Rojo:** Fuerza aplicada por el tornillo sobre arandela
- **Verde:** Restricción sobre caras cilíndricas. (perno)

De esta forma, un tanto peculiar, pero efectiva, es posible simular el efecto de amarre al suelo. Con este tipo de restricción combinada se simula de manera muy real, los pernos de sujeción.

Además al realizar así la sujeción, el estudio estático, mostrara resultados para corroborar si este anclaje es el correcto. Esto es posible ya que se va a poder apreciar las tensiones en este lugar y compararlas.

Una vez realizada esta restricción se puede continuar con la explicación de las cargas del sistema.

#### 11.2.4 ESFUERZOS APLICADOS.

Para comenzar con este punto, se va a comentar, que al ser el segundo estudio, no se va explicar de nuevo, el cómo se han aplicado las cargas, a no ser que el punto lo requiera.

Comentado esto, hay que decir que en este punto, se va a utilizar las reacciones extraídas en el apartado anterior. Esto es debido a, como ya se ha mencionado antes, se ha discretizado la máquina para simplificar los estudios estáticos, de esta manera las uniones entre ciertas piezas se han simulado.

De nuevo se comienza observando la Ilustración 87 - General de cargas, se puede ver a simple vista que existen varias flechas de distintos colores, simulando las distintas cargas.

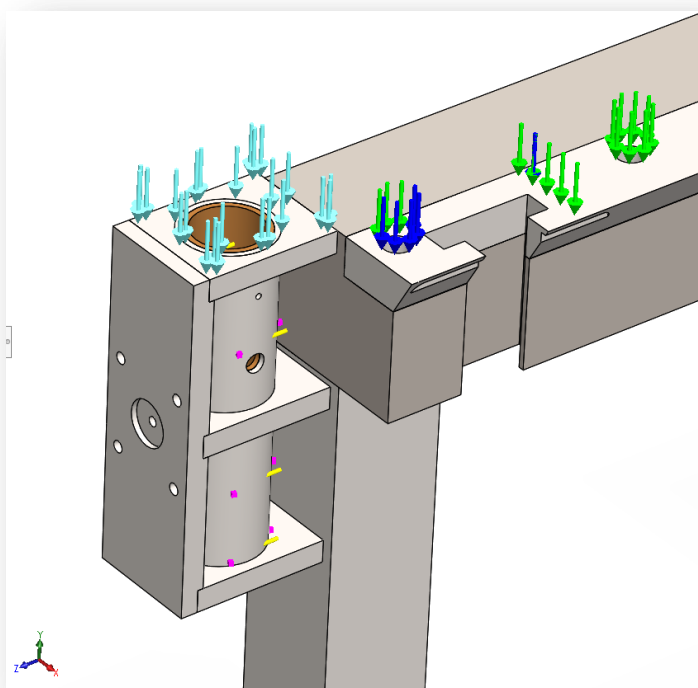


Ilustración 87 - General de cargas

Para comenzar por la más significativa, se observa la carga verde. Esta carga es el momento simulado en el empotramiento. Este momento tiene un valor de 180 Nm.

La forma de aplicación, ha sido similar al momento anterior comentado en la apartado 11.1

Análisis estático pisador y sujeciones. La cara cara de aplicación como se puede observar en la Ilustración 87, es la cara superior de la punta endurecida. Por otro lado, como eje de giro se ha seleccionado la arista que contiene esa misma cara.

Otra de las cargas que se observa, es la de color azul oscuro. Esta carga simula el peso de todos los elementos de la parte superior de esta máquina.

El valor de esta fuerza es de 5000N repartida por toda la superficie, así se simula el peso, ya que aunque se tenga la gravedad activada, al no tener las piezas en el ensamblaje, se ‘perderían’ estas cargas. Esta carga se ha aplicado en toda la cara superior de la punta endurecida y en la cara superior del subensamblaje que sujeta la camisa del cilindro guía. Donde también se ve aplicada otra carga azul claro.

Por continuar hablando de la misma carga azul claro, de esta, hay que decir que es la simulación de la reacción obtenida en el estudio estático del pisador y sujeciones, en el punto 11.1.

La magnitud de esta carga es de 3500N, ya que la reacción en ‘Y’ del estudio antes citado era de 3440 N.

Otra flecha que se puede divisar es la de color amarillo. Esta carga simula la reacción sobre el eje ‘Z’. La magnitud de esta es de 2500N, ya que la reacción obtenida era de 2230 N. Esta carga está aplicada en ambas partes de la bancada, ya que como se ha comentado en el punto 11.1, el momento generado en este estudio, intenta ‘abrir’ el ensamblaje, de esto modo estas cargas simulan esa acción de ‘abrir’. Por lo tanto ambas tienen la misma dirección pero distinto sentido de aplicación.

Esta carga se aplica en la cara interna de la camisa del cilindro guía, en un solo eje.

Finalmente queda la carga de color magenta. Esta carga es la menos significativa, pero no de menos importancia. Con ella se ha simulado la reacción en el eje ‘X’.

Esta carga se ha determinado con un valor de 400 N, ya que la reacción en este eje, es de 317N.

Esta carga esta aplicada a la cara interna de la camisa del cilindro guía

Como resumen total de cargas se tiene:

- Momento en el empotramiento: 180Nm
- Cargas eje ‘X’ = 400N
- Cargas eje ‘Y’ = 8500N
- Cargas eje ‘Z’= 2500N
- Gravedad.

Una vez conocidas todas las cargas se puede continuar con el apartado del mallado y coordenadas.

### 11.2.5 MALLADO Y EJES DE COORDENADAS

En el apartado siguiente se va a realizar una explicación sobre el mallado, además se van a referenciar los ejes de coordenadas del sistema para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos en los estudios estáticos.

En la Ilustración 72, se puede observar claramente la selección del tipo de malla empleada.

Se ha usado una malla fina y estándar en casi todo el ensamblaje. Esto es debido a la forma de algunas piezas se ha tenido que hacer un control de malla de dichas piezas.

El control de malla es una opción para refinar la malla en ciertos puntos del ensamblaje. Cuando se quiere refinar la malla, normalmente viene dado por problemas de mallado. Estos problemas surgen debido a que hay ciertos tipos de elementos que, por su forma constructiva, dan problemas al mallar. Un ejemplo claro suelen ser los taladros muy finos, otro, suelen ser los redondeos muy pequeños. En nuestro caso ha sido por un problema de la geometría genérica de la camisa del cilindro guía. Por este motivo se ha aplicado un control de malla en este elemento.

Sin embargo, hay veces que los controles de malla se usan para obtener una mayor precisión es dicho punto o elemento. Por ejemplo, en una cigüeñal, se querrá mayor precisión de resultados, donde se sostienen las bielas y en los apoyos. Esta herramienta es muy utilizada dentro de los análisis FEM.

Para seleccionar este control de malla, se puede observar la Ilustración 88. Esta ventana muestra un recuadro azul. En este cuadro, se mostrarán las caras o elementos que seleccionemos para el control de mallado.

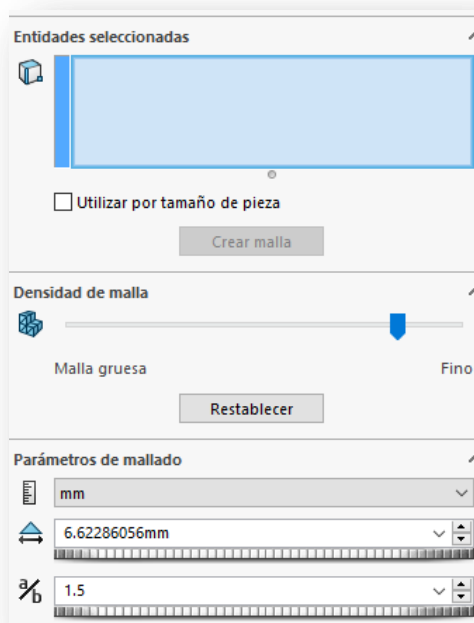


Ilustración 88 - Control de mallado



Una vez se han seleccionado los elementos para el control de malla, mediante la deslizadera y las ruedas de debajo de la ilustración. Se regulará la medida de malla que se considere necesaria para poder llevar a cabo el estudio.

En el caso de este elemento, se ha seleccionado una malla de 6.622mm. Una vez se acepta este control de mallado, el programa ejecuta el control de malla y el de todos los demás elementos, con la malla genérica antes seleccionada.

El resultado del mallado se puede observar en la siguiente Ilustración 89. En ella se puede diferenciar como el elemento con el control de malla dispone de un color mucho más ennegrecido. Esto es debido a que los triángulos de la malla son mucho más pequeños.

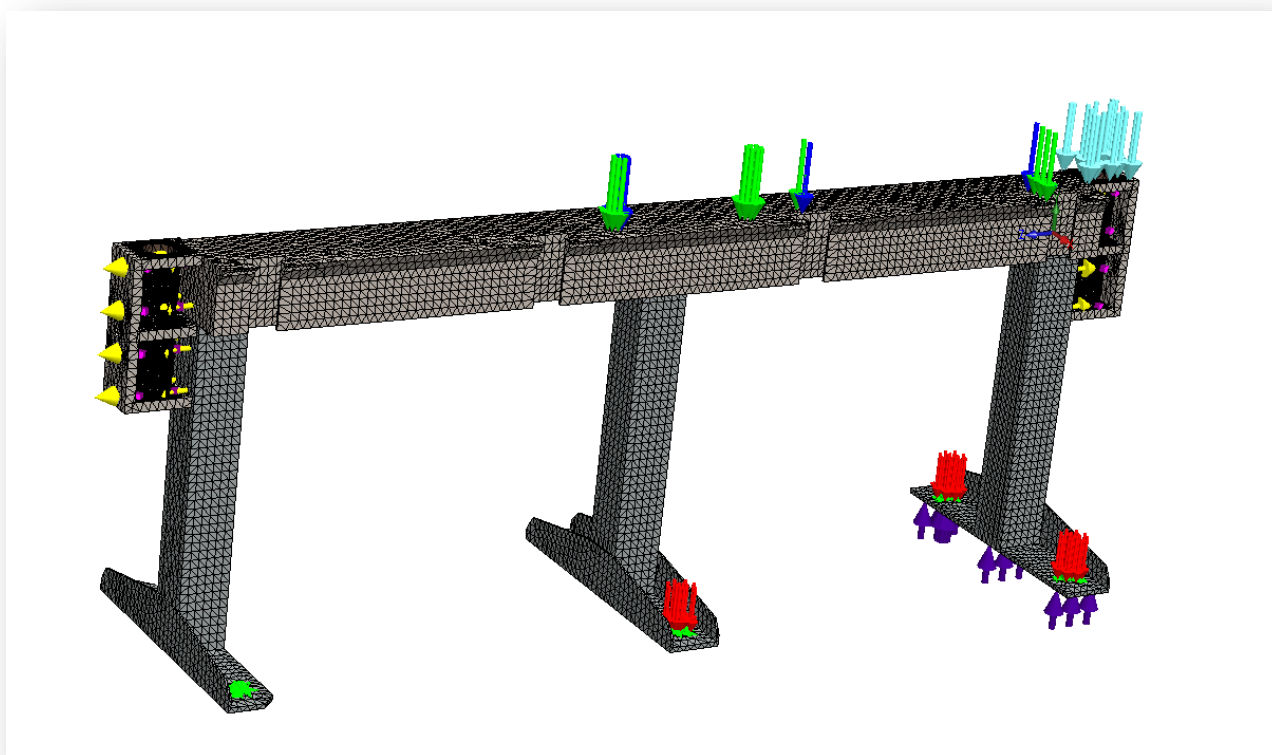


Ilustración 89 - Vista general mallado bancada

Una vez se ha conseguido el mallado completo de todos los elementos, ya se puede realizar el estudio. Pero antes de pasar al siguiente apartado, se va a mencionar los ejes de coordenadas de este ensamblaje.

Para la observación de los ejes, se puede retomar la Ilustración 87, en ella se observa los ejes en detalle.

El eje 'X', es el de color rojo, esta está formando un ángulo de  $90^\circ$  con los perfiles de las patas.

El eje 'Y', es el de color verde, el cual está en la dirección de la gravedad, marcada por una flecha roja en el centro la bancada.

Por último se observa el eje 'Z' en color azul, situado de forma perpendicular a la gravedad, es decir, formando  $90^\circ$  con el eje 'Y'.

Finalmente y una vez determinado todos los parámetros del mallado, además de conocer los ejes de coordenadas del ensamblaje, el estudio estático está definido por completo. De este modo ya es posible su ejecución. En los apartados siguientes se interpretarán y explicarán los distintos resultados del estudio.

---

#### 11.2.6 RESULTADOS FINALES

En este punto, se va a interpretar los resultados obtenidos mediante el análisis estático, los resultados principales que se va a mostrar, van a ser los siguientes:

- Tensión equivalente de Von Mises
- Desplazamientos en 'X'
- Desplazamientos en 'Y'
- Desplazamientos en 'Z'
- Resultante de desplazamientos

Debido a que en el punto anterior se explicó la tensión equivalente de vonMises, en este apartado se va a pasar directamente a mostrar los resultados.

#### TENSIÓN EQUIVALENTE DE VONMISES

El resultado obtenido y la deformada se puede observar en la Ilustración 90, se tiene una tensión máxima de 8,884MPa, esta tensión significa que esta pieza no sufre apenas esfuerzos.

Este resultado concluye de nuevo que los elementos diseñados para este sistema, disponen de las proporciones necesarias para resistir los esfuerzos los cuales soportan.

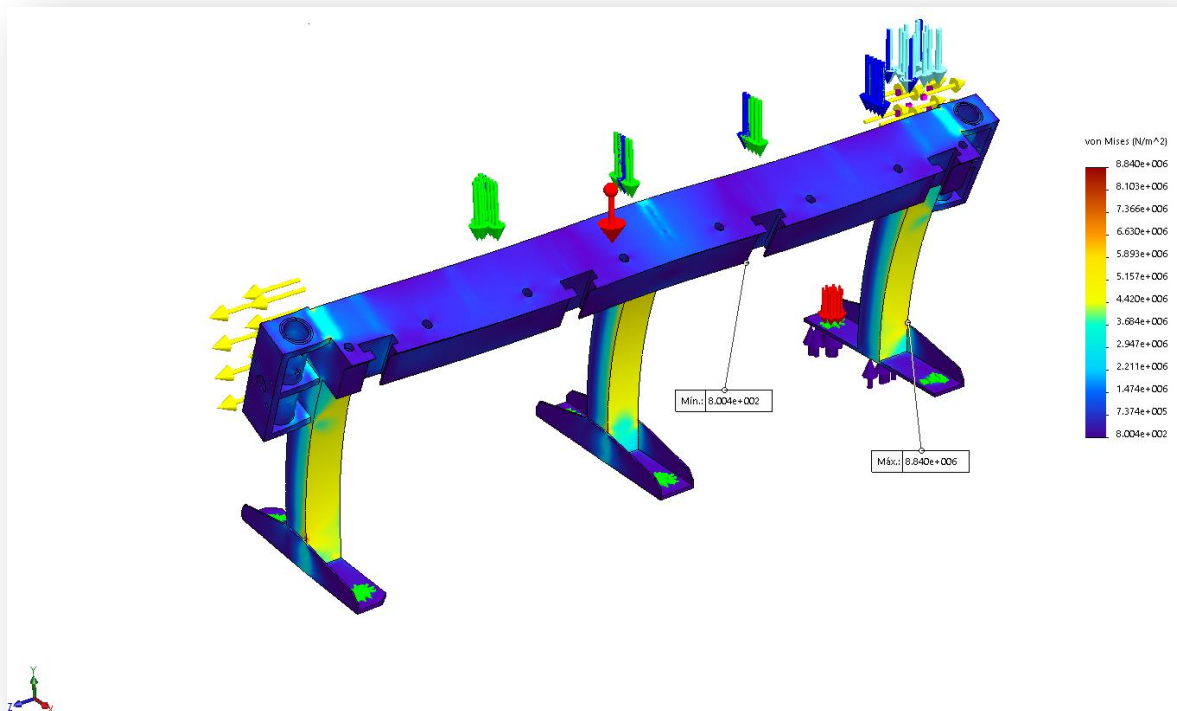


Ilustración 90 - Tensión de vonMises bancada

De nuevo se comprueba que todo el elemento trabaja en el rango elástico, sin sufrir apenas esfuerzos.

Por otro lado se puede observar en detalle la restricción utilizada, en la Ilustración 91, es posible observar como los distintos colores de la leyenda, muestran al acercarse al taladro un aumento de la tensión.

Esto simula en gran medida a la presión generada por un tornillo.

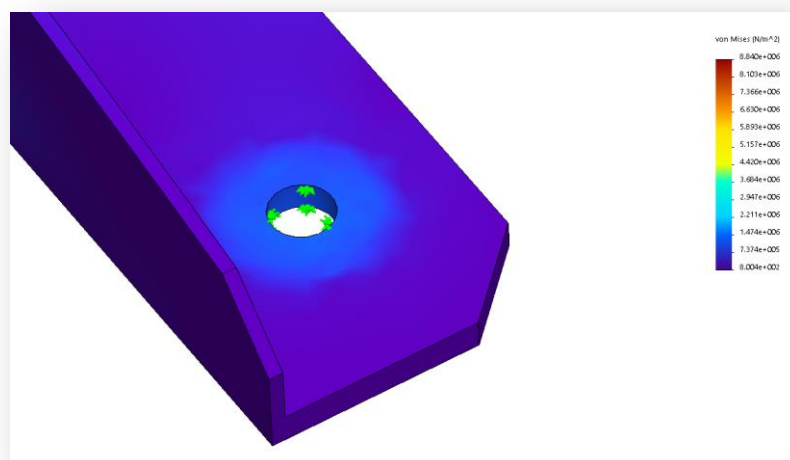


Ilustración 91 - Detalle restricción

En definitiva, es un detonante de que el sistema está bien interpretado y definido. Ahora se va a exponer los resultados de los desplazamientos en los distintos ejes.

### DESPLAZAMIENTOS EN 'X'

La mejor manera de mostrar una representación de los desplazamientos, es continuar con la Ilustración 92, en ella se puede observar como el momento aplicado, ha actuado sobre la bancada desplazándola hacia delante, si bien es cierto que estos desplazamientos no son reales y simplemente son una exageración para poder visualizar mejor el efecto. De hecho el desplazamiento máximo en este eje obtenido es de 0.0804mm, lo que viene a ser insignificante para la estructura.

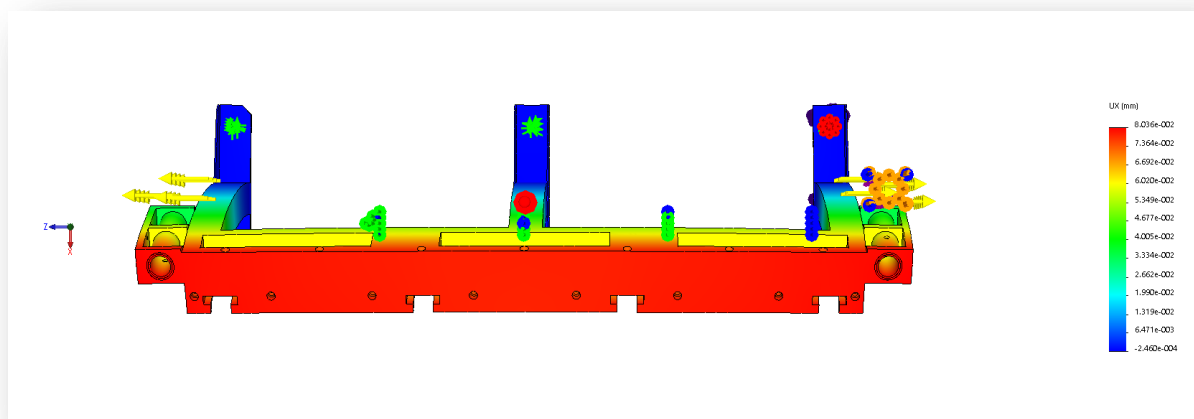


Ilustración 92 - Desplazamientos 'X' Bancada

Se puede observar en rojo los puntos que han recibido mayor desplazamiento, así como, las patas en azul, como han recibido un menor desplazamiento, de nuevo todo el estudio es correcto.

### DESPLAZAMIENTOS EN 'Y'

Para seguir se procede a la muestra de los desplazamientos en 'Y' para ello de nuevo, se observa la Ilustración 93.

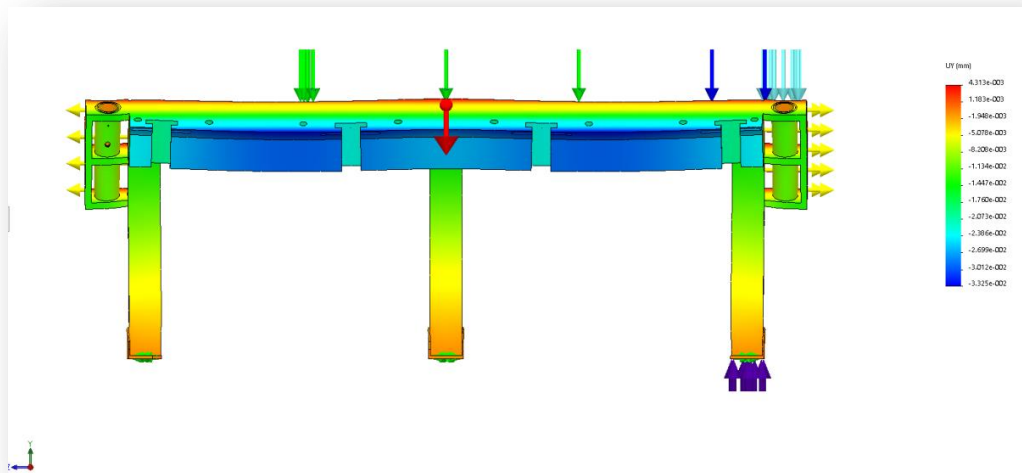


Ilustración 93 - Desplazamientos eje 'Y' Bancada

Se puede observar como las fuerzas han deformado la bancada como si fuera una viga con tres apoyos.

Estos esfuerzos han generado un desplazamiento en este eje de 0.004mm, es decir, imperceptibles.

Estos resultados son lógicos debido a que la bancada no sufre apenas a compresión, debido al diseño aplicado sobre ella.

### DESPLAZAMIENTOS EN 'Z'

A continuación se muestra en la Ilustración 94 los desplazamientos en la bancada en el eje 'Z'.

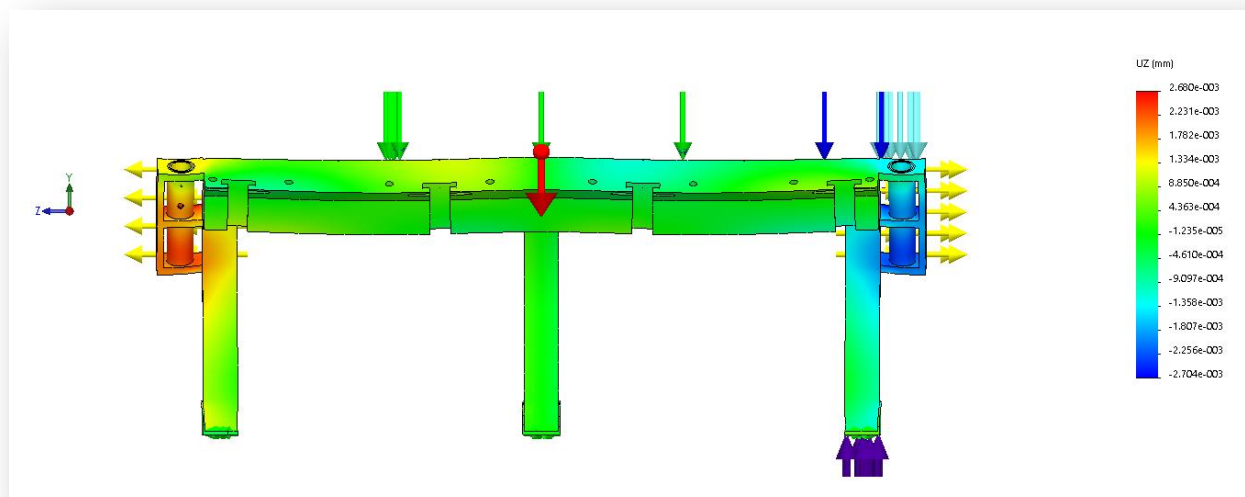


Ilustración 94 - Desplazamientos en 'Z' Bancada

Se puede observar mediante los colores en ella, azul y rojo, como se vuelve a diferenciar el efecto de ‘apertura de la misma’, ya los desplazamientos que sufre son los mismos, pero los colores rojo y azul indican que son en positivo y negativo.

Este eje sufre una deformación simétrica de 0.003 mm en ambos sentidos.

Finalmente es posible mostrar la resultante de todos los desplazamientos anteriores.

## RESULTANTE DE DESPLAZAMIENTOS

Para finalizar este apartado de desplazamientos, se va a mostrar la resultante de todos los desplazamientos antes mencionados. Como se sabe esta resultante es una combinación de las tres y dará un resultado combinado de todos los desplazamientos. Para poder apreciar mejor el desplazamiento combinado, se puede observar en las siguientes ilustraciones; Ilustración 95, Ilustración 96, Ilustración 97.

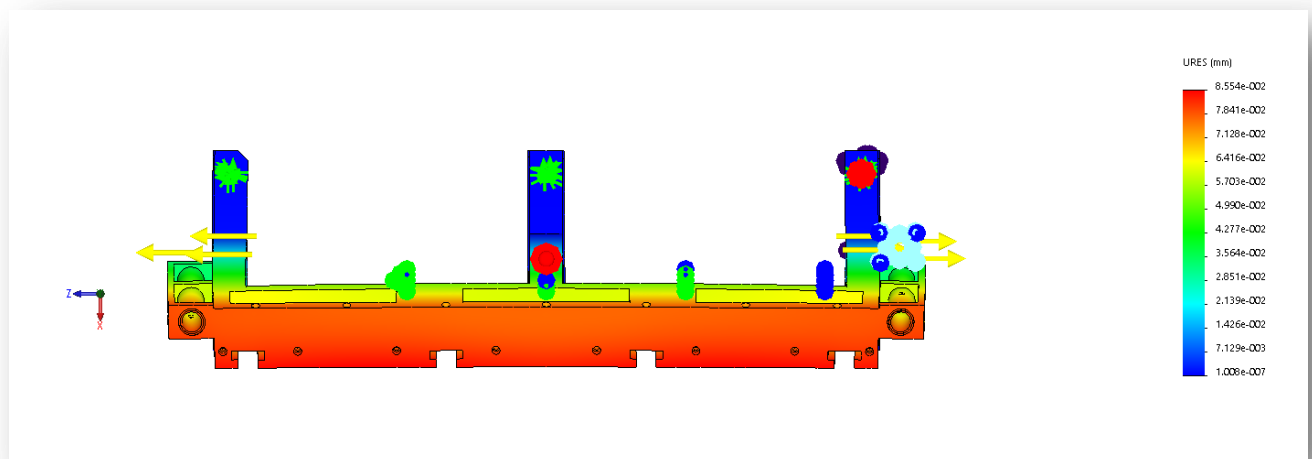


Ilustración 95 - Resultante desplazamientos eje 'X'

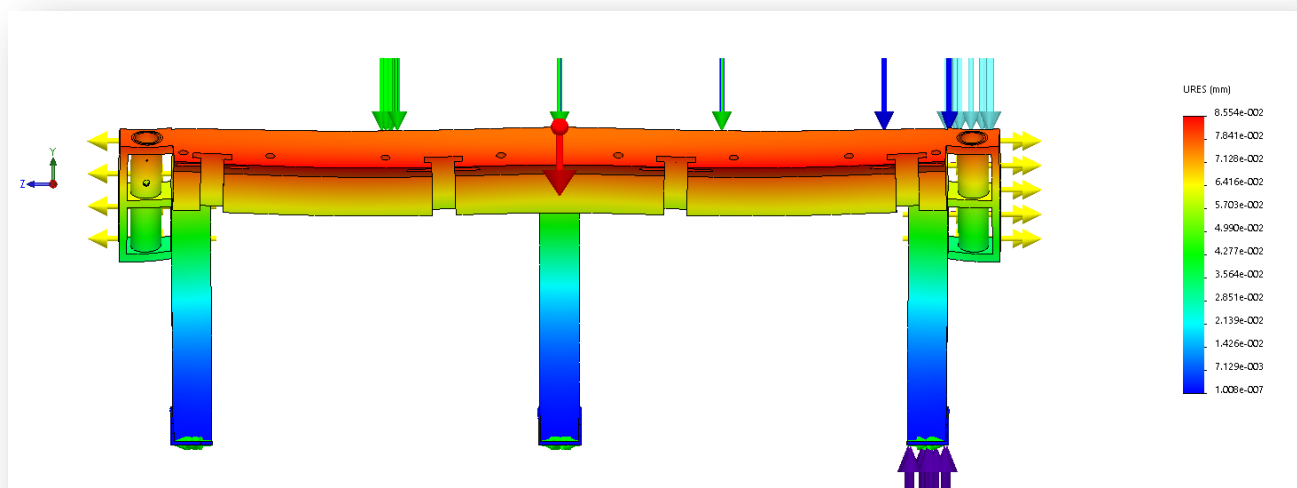


Ilustración 96 - Resultante desplazamientos eje 'Y'

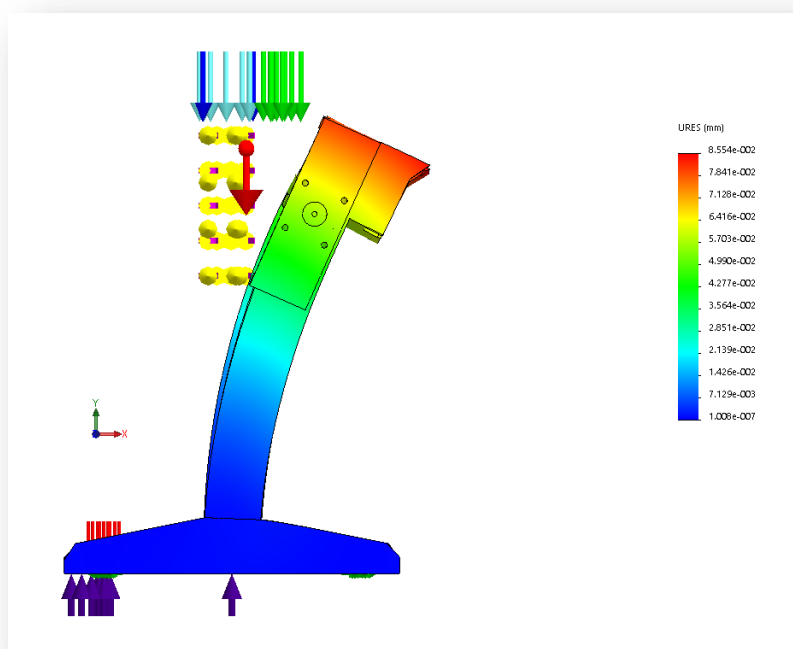


Ilustración 97 - Resultante desplazamientos eje 'Z'

Visualizando estas ilustraciones es posible hacerse la idea de cómo se deformará la bancada.

El resultado final de desplazamientos es de 0.085mm, un desplazamiento insignificante para este tipo de máquinas. Esto, de nuevo, corrobora el diseño. Además permite realizar un plegado de calidad, debido a los desplazamientos tan ínfimos.

Aquí, se puede dar por finalizado el punto 11.2, a continuación se van a exponer los puntos de una forma más resumida, debido a que estos dos puntos anteriores, 11.1 y 11.2, eran los más importantes para el desarrollo de nuestra plegadora. A continuación se va a mostrar el análisis realizado a una de las tranchas.

Este elemento vuelve a ser simétrico con su homólogo inferior, se ha decidido optar con esta, debido a que por su construcción, no se puede implantar sobre esta uno de los refuerzos de las palancas.

De todos modos, éste no va a influir en ninguno de los aspectos del diseño.

### 11.3 ANÁLISIS ESTÁTICO TRANCHA

En este punto se va a proceder a la explicación del estudio realizado a la trancha. Debido a que este estudio está formado por una sola pieza, el apartado sobre la conexión de elementos se va a eliminar.

Para comenzar, como ya se sabe, la trancha es el elemento que transmite la fuerza que van a hacer los operarios para generar el plegado, a la propia chapa que se va a plegar.

En este estudio se ha aplicado las cargas solamente sobre la trancha, de este modo se estudia este elemento en solitario, de esta manera se consiguen resultados más específicos. En la Ilustración 98, se puede observar el montante completo del elemento.

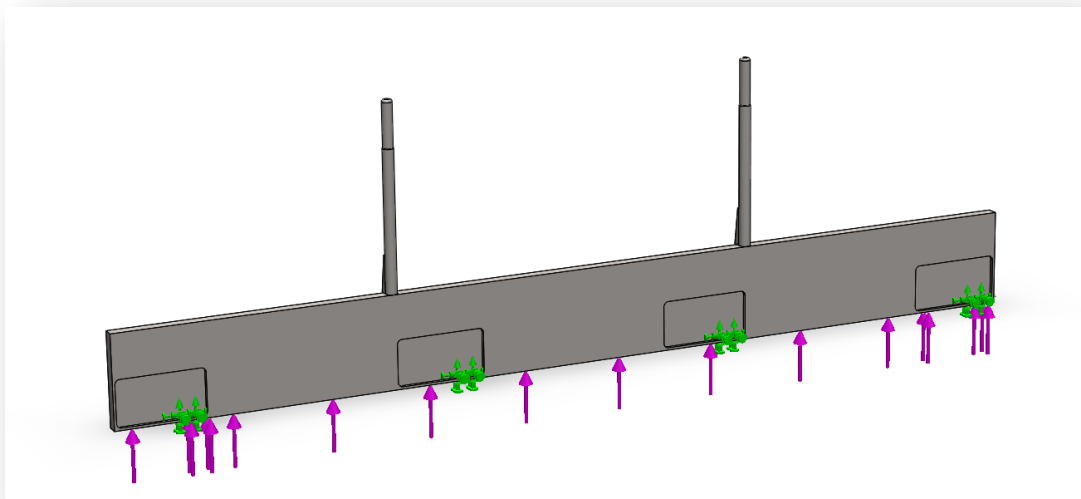


Ilustración 98 - Vista general estudio trancha



### 11.3.1 ELEMENTOS

Para comenzar se puede observar en la siguiente Tabla 12 – Detalle elementos, las características de ambas de nuestras tranchas.

**Tabla 12 – Detalle elementos**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	Lim. Elástico ( $\sigma_y$ )(MPa)	Módulo elástico (E)(MPa)	Densidad ( $\rho$ ) $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	Módulo de Poisson	Módulo cortante (MPa)
Tranchas	F1110	380Mpa	210000	7850	0.28	79000

Como se observa en todos los análisis estáticos es necesaria la aplicación de materiales, para que el programa pueda usar las diferentes características para los distintos cálculos.

Debido a que el estudio es de un solo elemento, se va a pasar al siguiente punto

### 11.3.2 RESTRICCIONES DEL SISTEMA.

A efectos de simular el plegado de la trancha sobre la chapa, se han determinado que solo era necesaria una de las restricciones. Debido a que no se ha explicado anteriormente, se va a mostrar cómo se ha aplicado esta restricción.

El tipo de restricción seleccionada, es el de geometría fija. Este tipo de restricción, transforma en un empotramiento, todas las caras o elementos que se seleccionan.

En este caso en concreto, se ha generado esta restricción sobre los agujeros de sujeciones de las bisagras.

De este modo, en la simulación, se mantiene fija la trancha y se le aplica el par de 180Nm antes calculado, sobre la cara que presiona la chapa. Es decir, en vez de que en la simulación la trancha aplique el momento, indirectamente se le ha aplicado su propio momento, y la trancha queda fijada.

Para seleccionar esta restricción se debe observar la Ilustración 99 - Geometría fija, en esta se observa un botón en el cual se ve un ancla.

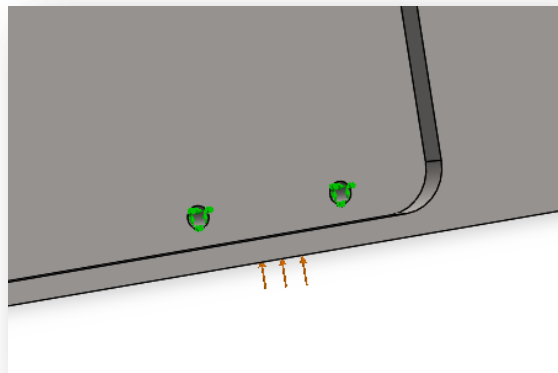
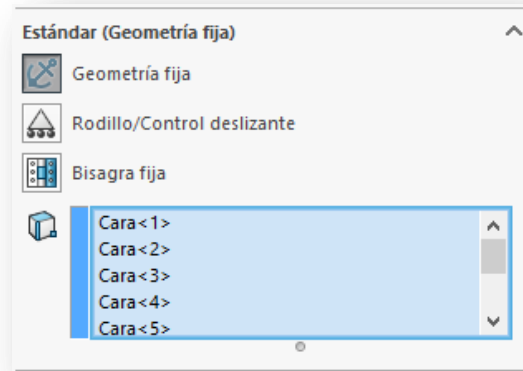


Ilustración 99 - Geometría fija

Como se ve en la imagen el botón está marcado, y debajo se ha abierto un recuadro azul. En el seleccionamos las caras que se quiere transformar en empotramientos, y estas caras pasarán a simular dicho empotramiento.

Como se observa en la Ilustración 99 - Geometría fija, se observa como en los agujeros, existen unas flechas verdes las cuales indican esta geometría fija. Una vez aplicada esta restricción ya se puede aplicar las cargas.

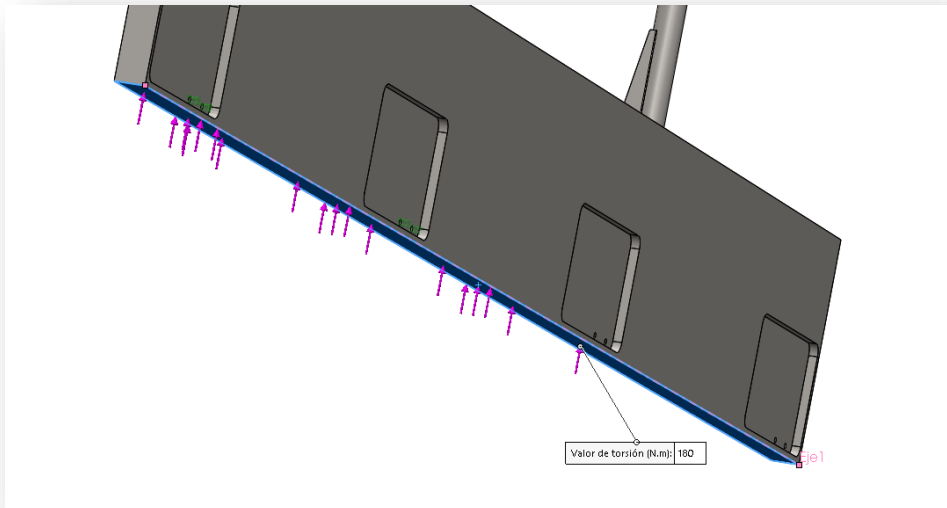
---

### 11.3.3 ESFUERZOS APLICADOS.

Como ya se ha comentado en el punto anterior 11.3.2, la única carga que se ha aplicado en este elemento ha sido el momento de 180N.m

Éste se ha aplicado en la cara de presión de la trancha, en la ilustración 96, se observan unas flechas naranjas las cuales representan ese momento.

La cara de aplicación ha sido la de presión de la trancha y el eje de giro ha sido la arista de la trancha. Más cercana a los agujeros. En la Ilustración 100, se observa la dirección y el sentido del esfuerzo, y el eje de aplicación marcado en rosa



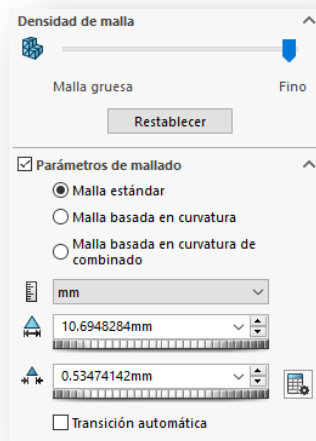
**Ilustración 100 - Aplicación par torsor**

Una vez aplicada la carga se puede continuar con el mallado y los ejes de coordenadas.

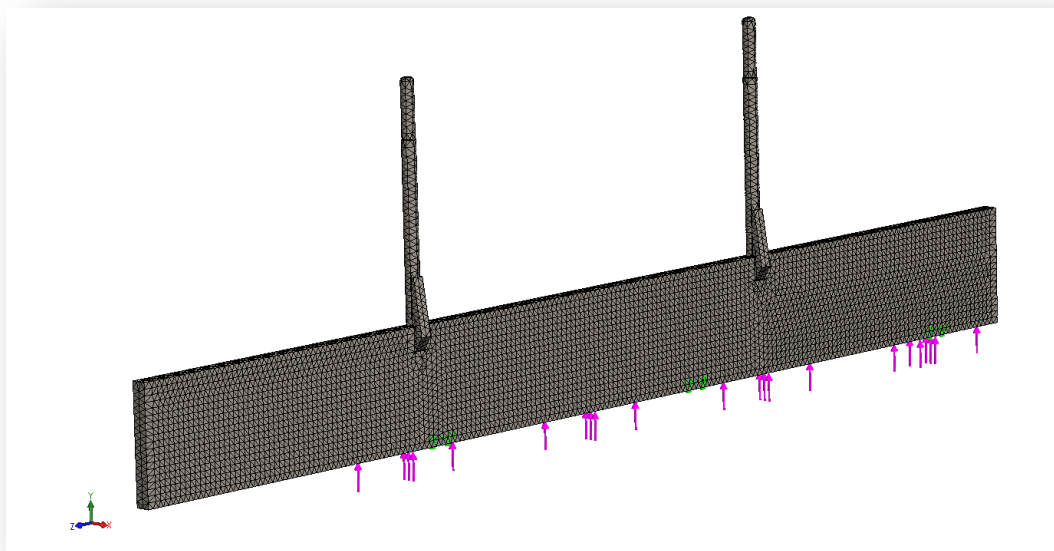
---

#### 11.3.4 MALLADO Y EJES DE COORDENADAS.

De nuevo en este punto se ha seleccionado una malla estándar, debido a que es un único elemento y existen restricciones aplicadas a agujeros de poca medida, la propia malla estándar se ha refinado para que el sistema esté bien representado, y no existan errores a la hora de malla. En la Ilustración 101, se puede observar la dimensión de la malla y en la Ilustración 102, se observa el resultado final de la malla.

**Ilustración 101 - Malla trancha**

Para continuar se va a realizar la explicación de los ejes de coordenadas. En la Ilustración 102, en él se observa el eje 'X' en color rojo, este es perpendicular a la trancha. El eje 'Y', está formando 90° con el eje 'X' y en la dirección y sentido de las palancas. El eje 'Z' está marcado en azul, y se contiene en el eje longitudinal de la trancha.

**Ilustración 102 - Mallado y ejes de coordenadas**

De nuevo, una vez vistos los ejes de coordenadas, se puede realizar este estudio, y se recibirán los resultados, los cuales se pueden ver en el siguiente punto.

### 11.3.5 RESULTADOS FINALES.

En este punto y para resumir, se va a mostrar la tensión equivalente de vonMises, y una tabla resumen de los resultados de tensiones. En los desplazamientos se va a actuar igual, se mostrará una imagen con la deformada de los desplazamientos, y de nuevo, una tabla resumen con los desplazamientos en los distintos ejes. De esta manera es posible hacerse una idea a ver la deformada de la resultante de desplazamientos, y a su vez la tabla resumen con los desplazamientos en los distintos ejes.

#### TENSIÓN EQUIVALENTE DE VONMISES

Se dispone de la Ilustración 103, a mostrar la deformada generada por la tensión de vonMises.

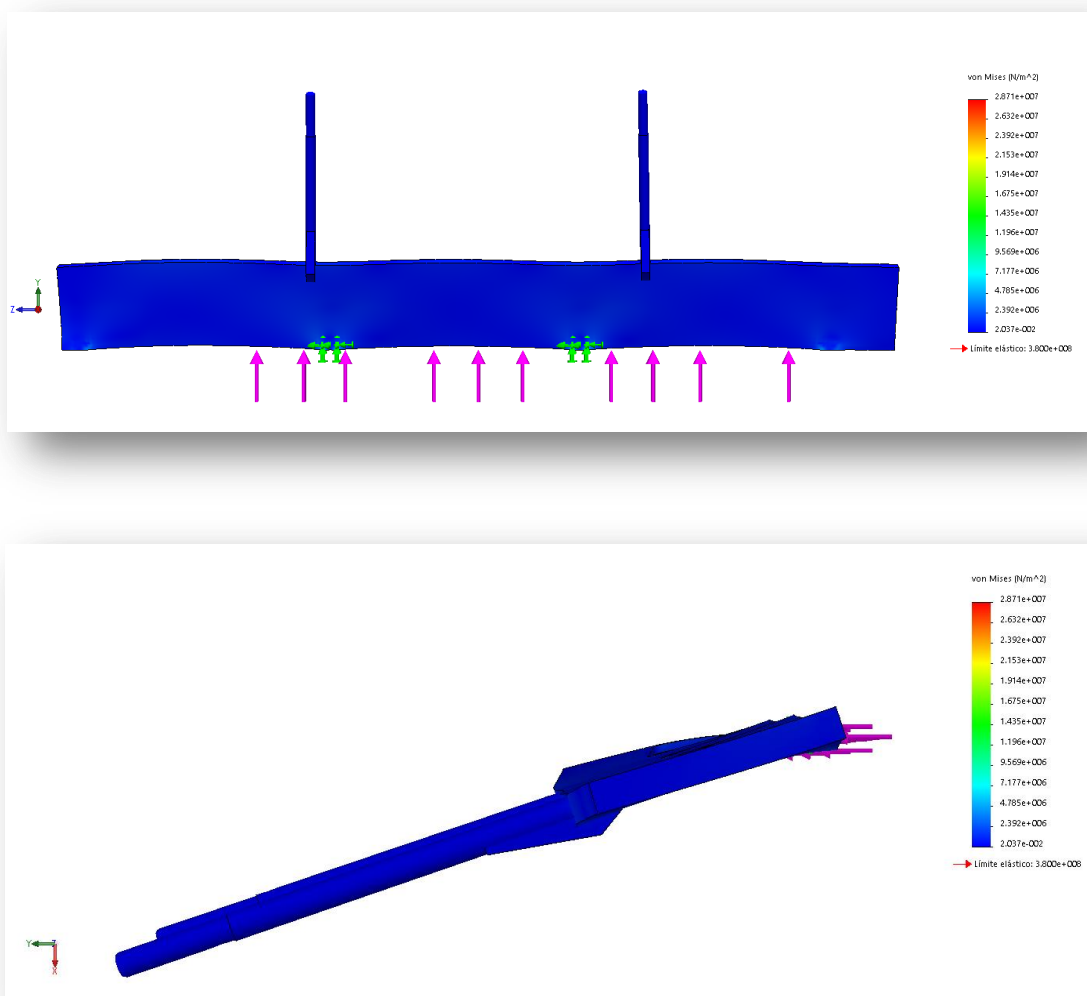


Ilustración 103 - Tensión equivalente de vonMises Trancha

Si se pone atención en el detalle, en la imagen inferior, se observa la deformada como si la trancha estuviera doblando el metal hacia abajo, pero este se lo impidiese. Esto es debido al tipo de restricción realizada y a la dirección del momento de inercia. De este modo se simula perfectamente el plegado del material, y extremando el resultado que esta chapa generaría sobre la trancha.

La tensión de vonMises máxima que soporta el elemento es de 28,71MPa, muy alejado de los 380MPa del límite elástico. De nuevo se corrobora el buen diseño de los elementos.

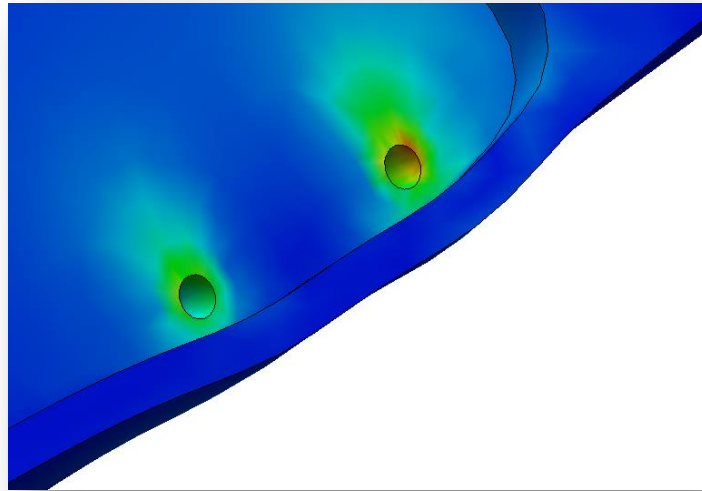


Ilustración 104 - Acumulación de tensiones.

Si se observa la Ilustración 104, es posible diferenciar las distintas fases de carga, y en como cuando se aproxima a los agujeros el color va cambiando, lo que esto significa que la tensión aumenta conforme se acerca a los orificios. Esta representación refleja el esfuerzo que sucede en la realidad.

Una vez observados estos detalles, se continúa con los desplazamientos.

## DESPLAZAMIENTOS.

En este apartado, se va a resumir los desplazamientos como se explicó anteriormente. Para iniciar la explicación se observa la Ilustración 105, en la cual se observan los desplazamientos resultantes en el sistema.

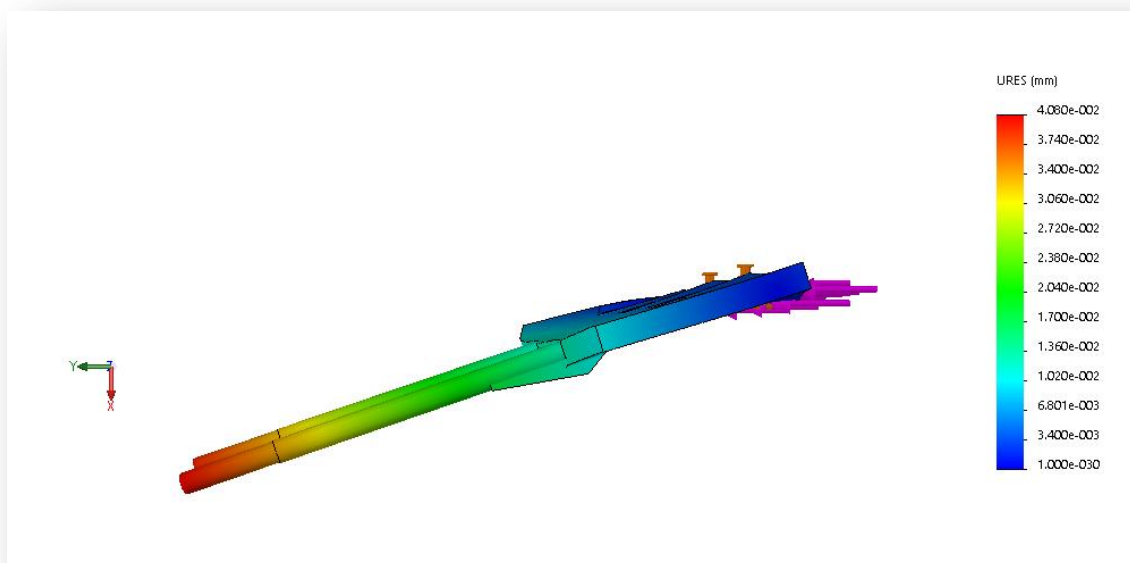


Ilustración 105 - Desplazamientos resultantes.

Se puede observar claramente que los desplazamientos, imitan muy precisamente, a la acción de plegado.

A continuación se observa una tabla con todos los resultados de los desplazamientos

Tabla 13 - Desplazamientos trancha

EJE	Desplazamiento (mm)
'X'	0.041
'Y'	0.004
'Z'	0.003
<b>Resultante</b>	0.041

Tras observar esta tabla, es posible hacerse una idea de lo poco que sufre este elemento. Es primordial, que este elemento se deforme lo menos posible, esto es debido a que si sufre muchas deformaciones, el doblado de la chapa no se realizará correctamente, y se obtendrán resultados poco satisfactorios.

En definitiva, todos los elementos hasta aquí estudiados, no sufren deformaciones excesivas ni tensiones elevadas, por lo tanto se corrobora el diseño de todos.

Una vez terminado con este análisis se continúa con el siguiente punto.

## 11.4 ANÁLISIS ESTÁTICO SUBCONJUNTO BIELA-MANIVELA.

En este apartado se va a mostrar los resultados de los estudios del mecanismo biela-manivela, en estos elementos se ha creído que era conveniente ejecutar los análisis a los siguientes componentes

- Biela
- Manivela
- Palanca

La estructura de este apartado va a ser la misma que las anteriores, pero, se explicará cada uno de los elementos por separado dentro de este mismo apartado.

Para comenzar se va a hacer una breve descripción de los elementos, su forma y sus materiales, como se ha hecho hasta ahora.

---

### 11.4.1 ELEMENTOS

Como primer elemento, cabe destacar la biela, este elemento al ser biarticulado trabaja a compresión o tracción, sobre su eje longitudinal.

Desde el análisis se ha simulado este efecto en la medida de lo posible.

Por otro lado, se tiene la manivela la cual es otro elemento biarticulado, pero, esta aparte de trabajar a tracción y compresión, también tiene un torsor aplicado. Este torsor, es el generado por el operario al levantar el pisador.

En el estudio de la manivela, se ha simulado estos esfuerzos como se explicará en los siguientes puntos.

Por otro lado la palanca sufre un momento que se transmite a la manivela mediante los pasadores que se disponen en ella.

A continuación en la Ilustración 106, se observa los elementos mencionados, en ellos, se pueden ver las fuerzas aplicadas o restricciones de una forma esquemática.

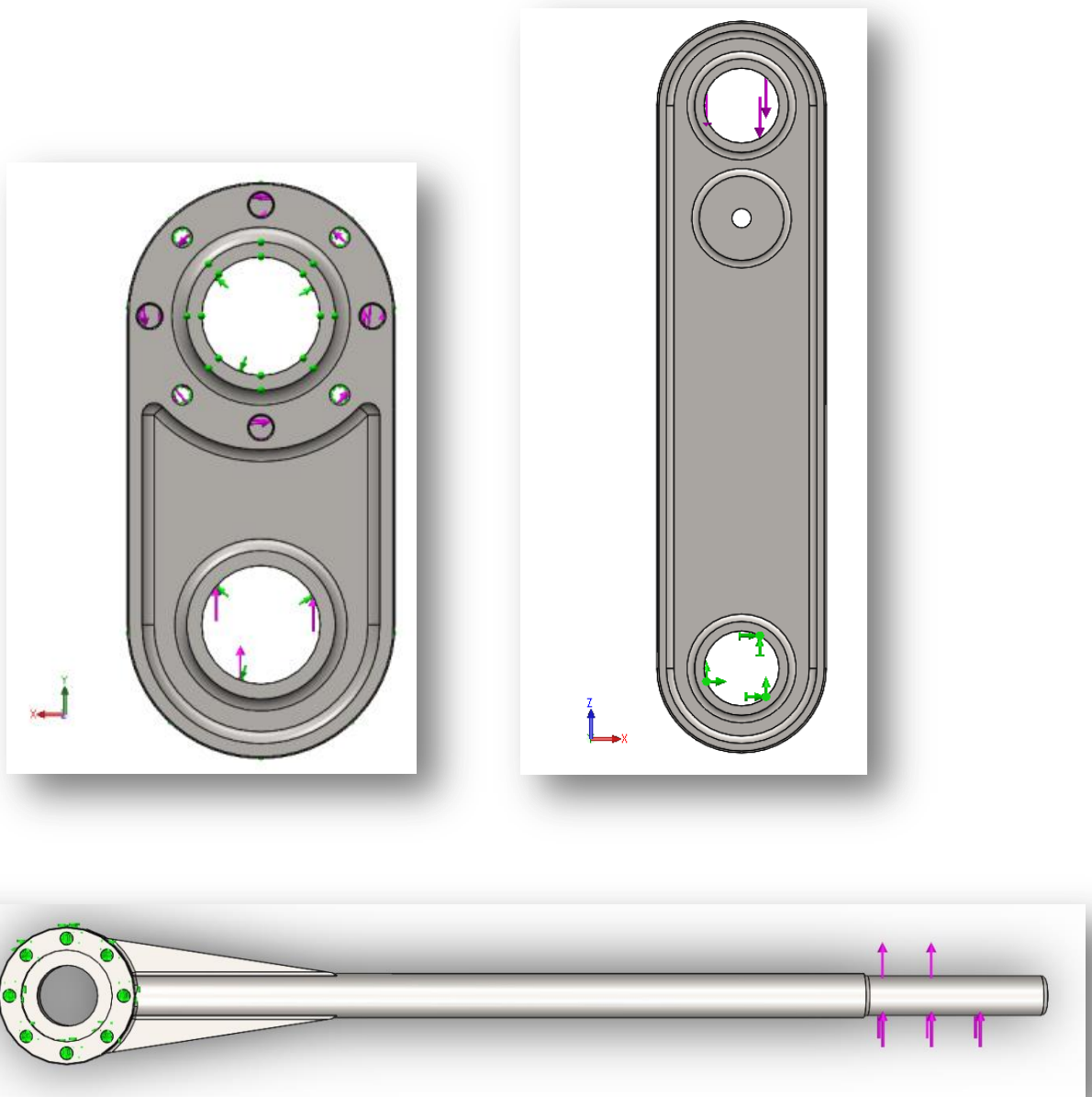
Además se observa los ejes de coordenadas. Todo esto se explicará en los apartados siguientes.

De nuevo se va a mostrar una tabla resumen con los elementos y las principales características.



**Tabla 14 - Resumen elementos.**

PIEZA	MATERIAL Norma UNE	Lim. Elástico ( $\sigma_y$ )(MPa)	Módulo elástico (E)(MPa)	Densidad ( $\rho$ )( $\frac{Kg}{m^3}$ )	Módulo de Poisson	Módulo cortante (MPa)
<b>Biela</b>	F1110	380Mpa	210000	7850	0.28	79000
<b>Manivela</b>	F1110	380Mpa	210000	7850	0.28	79000
<b>Palanca</b>	F1110	380Mpa	210000	7850	0.28	79000



**Ilustración 106 - Vista general elementos**

Para continuar se va a explicar las distintas restricciones de los distintos elementos.

#### 11.4.2 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

Para seguir de la misma manera, se comienza con la biela. Esta, se puede observar en la Ilustración 106, sobre esta ilustración se puede observar, en verde unas flechas que simulan la geometría de referencia empleada.

En este caso y para simular, la carga del pisador, se ha optado por usar la restricción de geometría fija, esta reacción genera un empotramiento en las caras seleccionadas. Las caras que se han seleccionado, ha sido la cara interna de donde iría el bulón entre la biela y la manivela, de esta manera la biela se mantiene fija y la carga puede actuar directamente sobre el eje longitudinal de esta. De esta forma la carga es aplica totalmente de forma axial, para simular la carga del peso.

Con esta restricción se consigue dicho efecto, de esta manera se sabe que en este estudio la biela trabaja totalmente a compresión.

Esto es todo en cuanto a la biela. En cuanto a la manivela, las restricciones empleadas, se van a explicar a continuación.

Sobre este elemento se han usado dos tipos de restricciones, los cuales no se han comentado hasta ahora.

El primero y para simular los bulones, es el de bisagra fija. Esta restricción, como su nombre indica, convierte la cara cilíndrica que se haya seleccionado en una bisagra. En la Ilustración 107, se puede observar la ventana, en la cual seleccionamos este tipo de restricción. Para iniciar, se pulsa el botón que aparece una bisagra dibujada, después se selecciona la cara la cual se quiere transformar en bisagra fija. Y finalmente se acepta

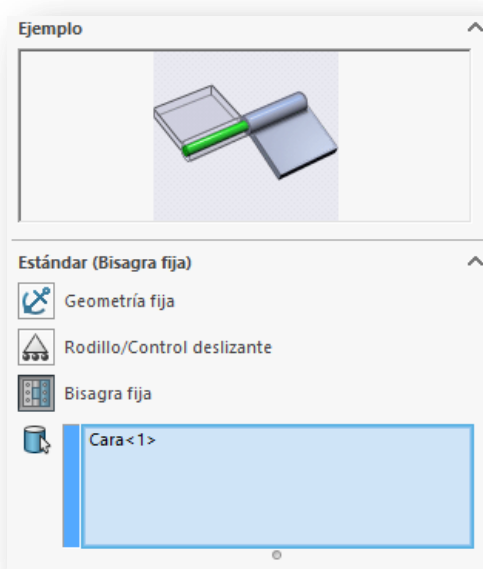


Ilustración 107 - Restricción bisagra fija

Esta restricción simula literalmente, los movimientos que puede realizar una bisagra. Limita los movimientos lineales, y permite los giratorios. Debido a que permita los movimientos en la dirección axial de la bisagra, surge la necesidad de aplicar la siguiente restricción sobre la manivela.

La restricción se llama control deslizante. Esta, es una simplificación de la antes utilizada geometría de referencia.

Para implantar esta restricción, simplemente seleccionamos la cara que se quiere limitar, y esta, restringirá el movimiento de esa cara en la dirección perpendicular al plano de esa misma cara y dejará libres las otras direcciones.

De nuevo el ejemplo del vaso apoyado en la mesa. Por eso mismo, se ha utilizado esta restricción, ya que para limitar el movimiento axial que permite la bisagra, se ha usado esta restricción para limitar el movimiento de la manivela en estas direcciones.

En definitiva, sólo permite el movimiento en el plano de la propia manivela.

Por último la palanca, en esta se ha usado la restricción de geometría fija. La simplificación es similar a la de la trancha. Se han bloqueado los agujeros en los cuales irían los pasadores, ‘empotrando’ en cierto modo estos y se ha ejercido la fuerza para la elevación del pisador sobre la zona de agarre de la palanca. De esta manera se simula el levantamiento del pisador.

Ya que se menciona el esfuerzo del levantamiento del pisador, se va a proseguir analizando las cargas aplicadas.

---

#### 11.4.3 ESFUERZOS APLICADOS

En este estudio, y debido que hay varios elementos que trabajan de la misma manera y con la misma carga, se va a explicar el conjunto de ambos, más concretamente se habla de la biela y la manivela. Ambas piezas trabajan a compresión cuando se ejerce el levantamiento del pisador. De este modo a ambas se les ha aplicado una carga de 3000N simulando el peso del pisador.

El peso que se lleva la biela y la manivela son unos 200kg, pero se ha decidido mayorar las cargas para aumentar el coeficiente de seguridad de las piezas.

En estos casos la carga se ha aplicado axialmente sobre ambos elementos en las caras circulares que quedan libres de restricción. Para esto simplemente se ha aplicado una fuerza y se ha seleccionado como dirección una arista de las cuales está en la dirección axial de las piezas. En la Ilustración 106, se puede observar claramente en morado las fuerzas de las cuales se habla. Una vez definida esta fuerza, la biela, queda totalmente definida. Por otro lado de la manivela, se sabe que además sobre ella tiene aplicando un torsor. Éste torsor es debido a la acción del levantado del pisador.

Para simular esta carga se ha aplicado esta fuerza sobre las caras internas de los tornillos y los pasadores, esto es debido a que esta carga será transmitida por dichos elementos. Principalmente por los pasadores, pero también por los tornillos, aunque en una medida muy pequeña.

Para aplicar el torsor se ha usado la cara cilíndrica en la cual iría posicionada la palanca, de este modo se le ha dado dirección al giro. En la Ilustración 108, se observa un detalle de la dirección y el sentido de dicho torsor.

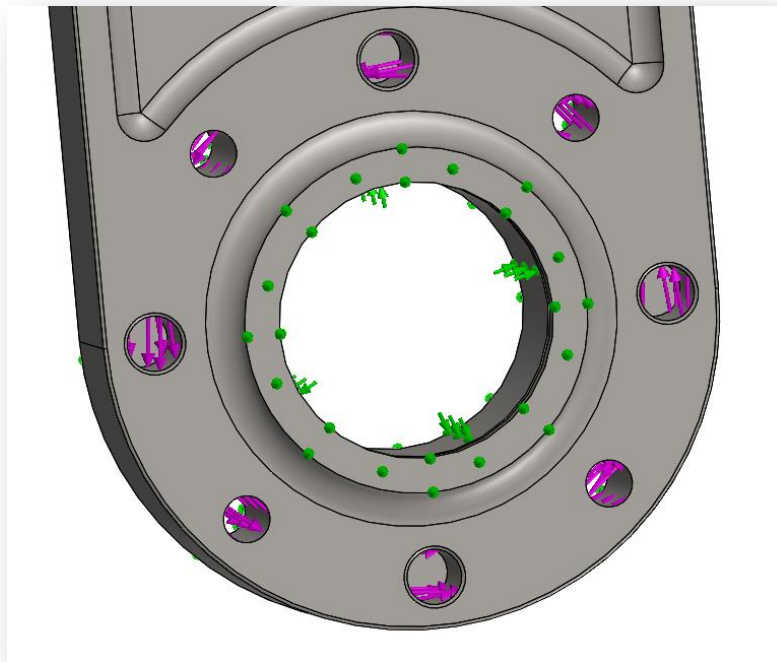


Ilustración 108 - Par torsor aplicado

El valor de base de este torsor es de 70,72 Nm, este dato se puede consultar en el punto 10.1. Partiendo de este resultado el torsor aplicado en el estudio es de 85Nm, de nuevo para mayorar las cargas.

Por último, se dispone de la palanca, sobre esta, se ha aplicado la fuerza del operario, es este caso, como se puede observar en el punto 10.1, es de 117.18 N y de nuevo para mayorar la carga se ha usado 130N.

En definitiva, con estas cargas se ha querido simular las acciones que ejecutaría esta máquina en un día de funcionamiento habitual.

A continuación se mostrará el mallado de los elementos y los respectivos ejes.

#### 11.4.4 MALLADO Y EJES DE COORDENADAS

De nuevo se expondrá los valores de malla empleados. En este caso, se ha usado la misma malla para los tres elementos. En la Ilustración 109, es posible apreciar los detalles de esta malla, debido a que los elementos son simples en su diseño, ese tipo de mallado tan reducido.

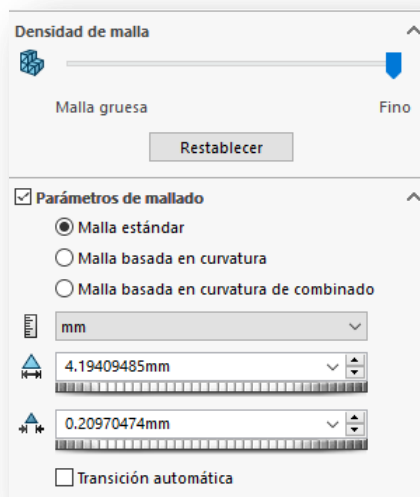


Ilustración 109 - Tipo de mallado

Respecto a los ejes de coordenadas, se pueden observar en la Ilustración 106 - Vista general elementos, el posicionamiento de dichos ejes.

En el caso de la manivela, los ejes que se tiene en cuenta en este punto van a ser. De color verde, el eje 'Y', ya que es el eje el cual da dirección a la fuerza, por otro lado el eje 'Z', ya que respecto a él se ha aplicado el torsor. En cuanto a la biela. El eje en azul, es el eje 'Z', este eje es el que marca la dirección de la fuerza, en él se va a obtener los resultados del axil interno del elemento.

Finalmente para la palanca, se puede observar el 'X' en color rojo y el 'Z', en azul. Estos dos mostrarán los desplazamientos del elemento, por otro lado en el eje verde, 'Y', es en el cual está aplicado el momento torsor.

Una vez vistos las distintas posiciones de los ejes y las densidades de malla, se va a observar en la

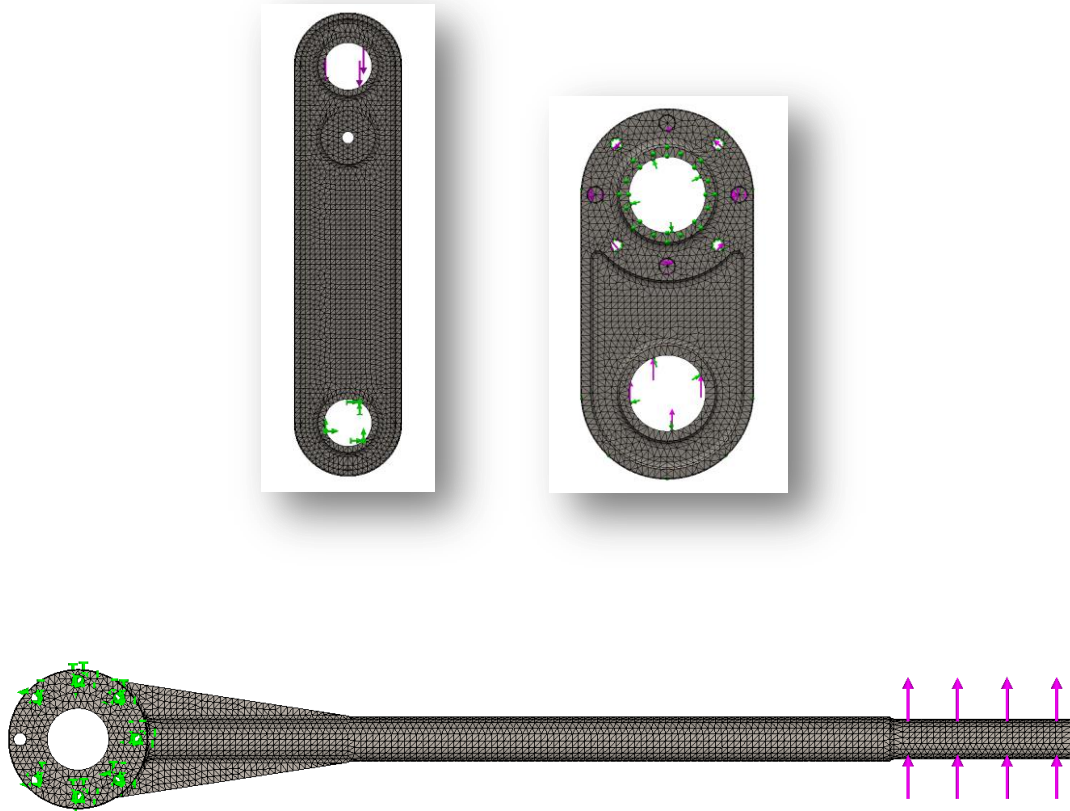


Ilustración 110 - Elementos mallados

Una vez diferenciados todos los elementos, se procede a la explicación de los resultados. Para el punto siguiente, se van a mostrar unas imágenes generales de las distintas deformadas, y a continuación se mostrará una tabla resumen con todos los resultados.

---

#### 11.4.5 RESULTADOS FINALES

##### TENSIÓN EQUIVALENTE DE VONMISES

De inicio se va a mostrar las tensiones equivalentes de vonMises, además en este apartado se va a mostrar, las deformadas de los elementos, y una tabla resumen con los resultados.

De seguido, las ilustraciones.

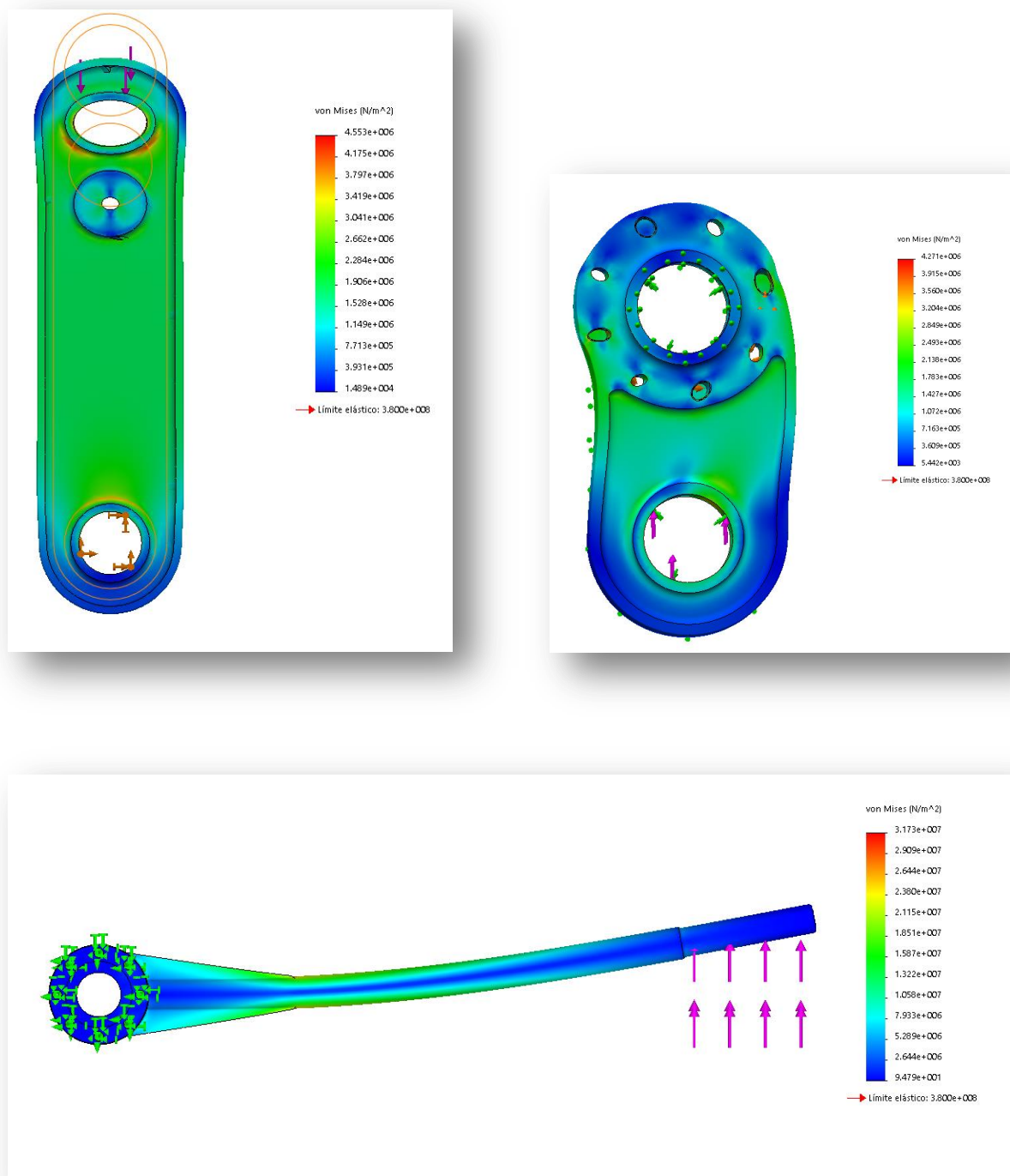


Ilustración 111 - Tensión equivalente vonMises en elementos

De estas ilustraciones, se puede sacar una conclusión general, de nuevo en ningún elemento se sobrepasa el límite elástico, lo que corrobora que el diseño y dimensionamiento de cada elemento es el correcto.

Por otro lado y más individualmente, todos los elementos, sufren las tensiones en la zona esperadas. Si se observa la biela, se ve claramente que las tensiones están aplicadas en el centro de la pieza con total simetría,

esto simula el axil a compresión que sufre el elemento. También se puede observar un aumento de tensiones donde se aplica la carga, cosa lógica debido que es la zona en la que se apoyaría el bulón del pisador, por lo tanto esa zona sufre mucho más, de hecho, en el diseño se observa como esta parte esta reforzada, y no se ha vaciado.

La manivela, sin embargo, al tener el torsor aplicado, su concentración de tensiones esta algo más dispersa. Si es posible observar las tensiones en el centro de la misma, pero, donde se ha aplicado el momento, existe una zona de repartición de tensiones de este mismo. Para que esto pueda suceder con total seguridad, se dejó dicha parte sin vaciar, de este modo, el exceso de material que existe en este punto, genera la inercia necesaria para contrarrestar este esfuerzo.

Finalmente, ya en la palanca, se observa que la zona que sufre es la zona media, donde existe una acumulación de tensiones elevada, sin embargo, para subsanar esto, se dispone de unos refuerzos del tubo de palanca. Estos refuerzos reparten la tensión sobre una mayor zona, lo que aumenta la resistencia de este elemento a ese tipo de esfuerzos.

En la Tabla 15 - Resumen resultados tensión vonMises, se observan todos los resultados obtenidos.

**Tabla 15 - Resumen resultados tensión vonMises**

<b>Elemento</b>	<b>Tensión equivalente vonMises (MPa)</b>
<b>Biela</b>	4,55
<b>Manivela</b>	4,271
<b>Palanca</b>	31.73

Vista esta tabla, se ve más directamente las tensiones tan bajas que reciben los elementos.

Para continuar se va a mostrar los desplazamientos.

## DESPLAZAMIENTOS

En este apartado final se va a mostrar los desplazamientos de los tres elementos mencionados anteriormente. Se va a comenzar con unas ilustraciones en las cuales se verá la deformada de la resultante de los desplazamientos, seguidamente se va a mostrar una tabla con los distintos resultados.

A continuación las ilustraciones.



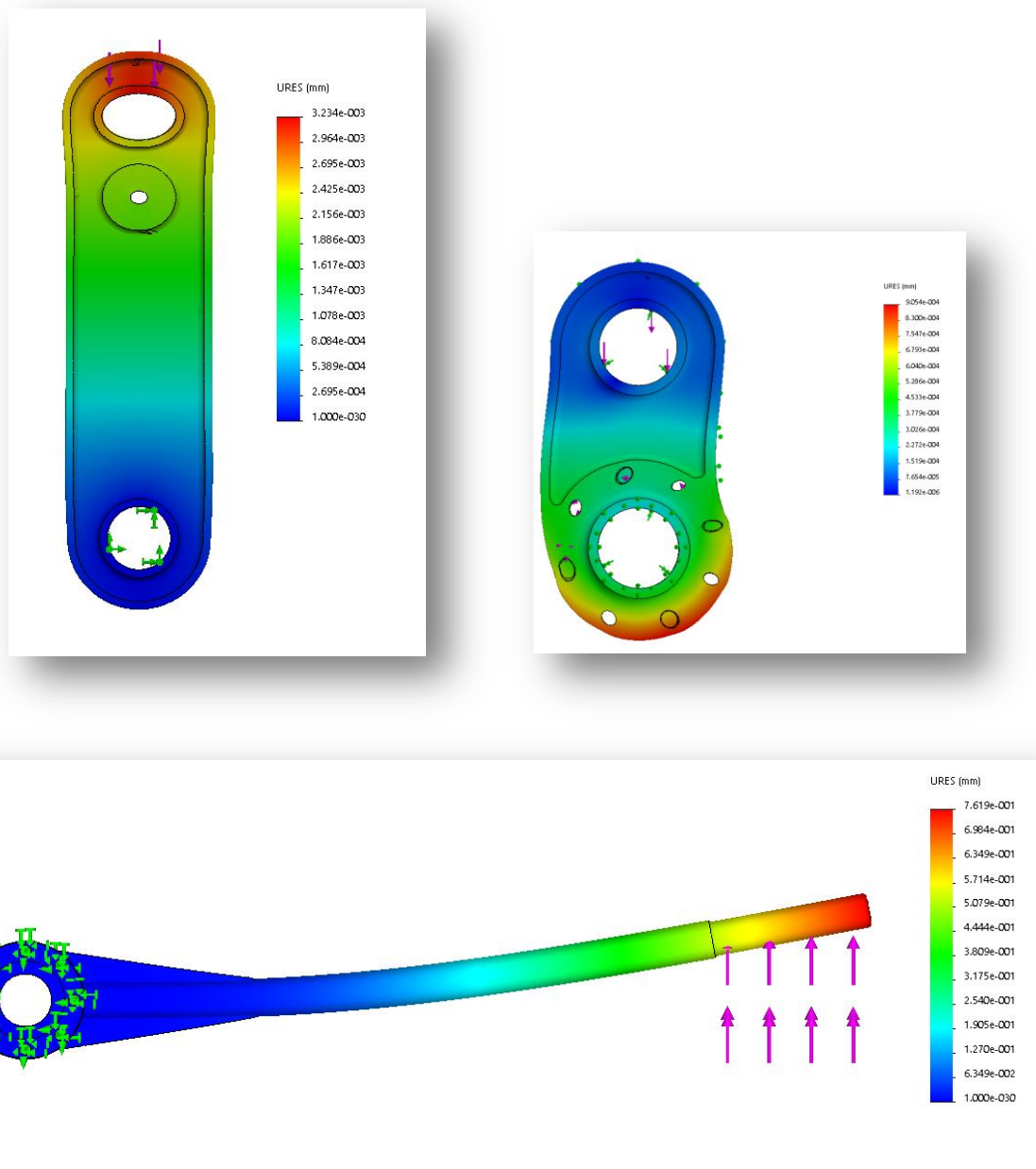


Ilustración 112 - Desplazamientos resultantes

De nuevo en las ilustraciones se muestra los resultados como se esperaba, los desplazamientos en biela y manivela son despreciables. El único desplazamiento que parece algo más elevado es el de la palanca, con un valor de resultante de 0,762 mm, el cual es asumible, debido a que como se ha demostrado en el anterior punto, el material trabaja todo el tiempo en el rango elástico.

En la tabla donde se muestran los resultados es la siguiente.

**Tabla 16 - Desplazamientos de los elementos**

Elemento	'X'	'Y'	'Z'	Resultante
<b>Biela</b>	0 mm	0 mm	0.003 mm	0.003 mm
<b>Manivela</b>	0.001 mm	0.001 mm	0 mm	0.0004 mm
<b>Palanca</b>	0.7616 mm	0.0002 mm	0.029 mm	0.762 mm

En definitiva, y una vez visto los desplazamientos, se observa, unos desplazamientos muy reducidos, de esta manera se da por concluido el estudio corroborando el correcto diseño y funcionamiento de dichos elementos.

Una vez concluido este apartado, se da por finalizado todos los análisis de los elementos más importantes, para continuar, se va a proceder la explicación del estudio no lineal, para comprobar que las fuerzas que se han calculado sería capaces de deformar la chapa. Para una explicación más precisa, se continúa con el siguiente apartado.

## 11.5 ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL COMPROBACIÓN FUERZA PLEGADO

Con este estudio se pretende corroborar la hipótesis planteada en el apartado 9.1 Cálculos de plegado, para ello se ha realizado un estudio estático no lineal, con simplificación 2D.

De inicio, se ha simulado la chapa a doblar, con una longitud de plegado estándar, unos 100mm.

Por otro lado, se ha aplicado la fuerza de nuestra resultante Q, calculada en el punto 9.1, a una distancia de:

$a_1 + 1/3 a_2$ , que es la distancia a la cual se aplica la fuerza Q, esta distancia es 11,33 mm.

Para simular todo este proceso se ha procedido de la siguiente manera.

Lo primero y principal, se selecciona un estudio estático con simplificación a 2D, como se muestra en la Ilustración 113 - Estudio estático no lineal.

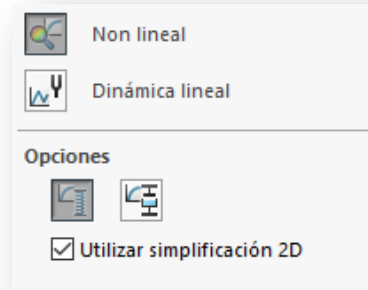


Ilustración 113 - Estudio estático no lineal.

Una vez se aceptan estos parámetros, aparece la ventana mostrada en la siguiente Ilustración 114. En ella se comienza por seleccionar tensión plana, debido a que el estudio que se va a simular, no dispone de tensiones en el plano normal al de la sección, como bien lee la ilustración.

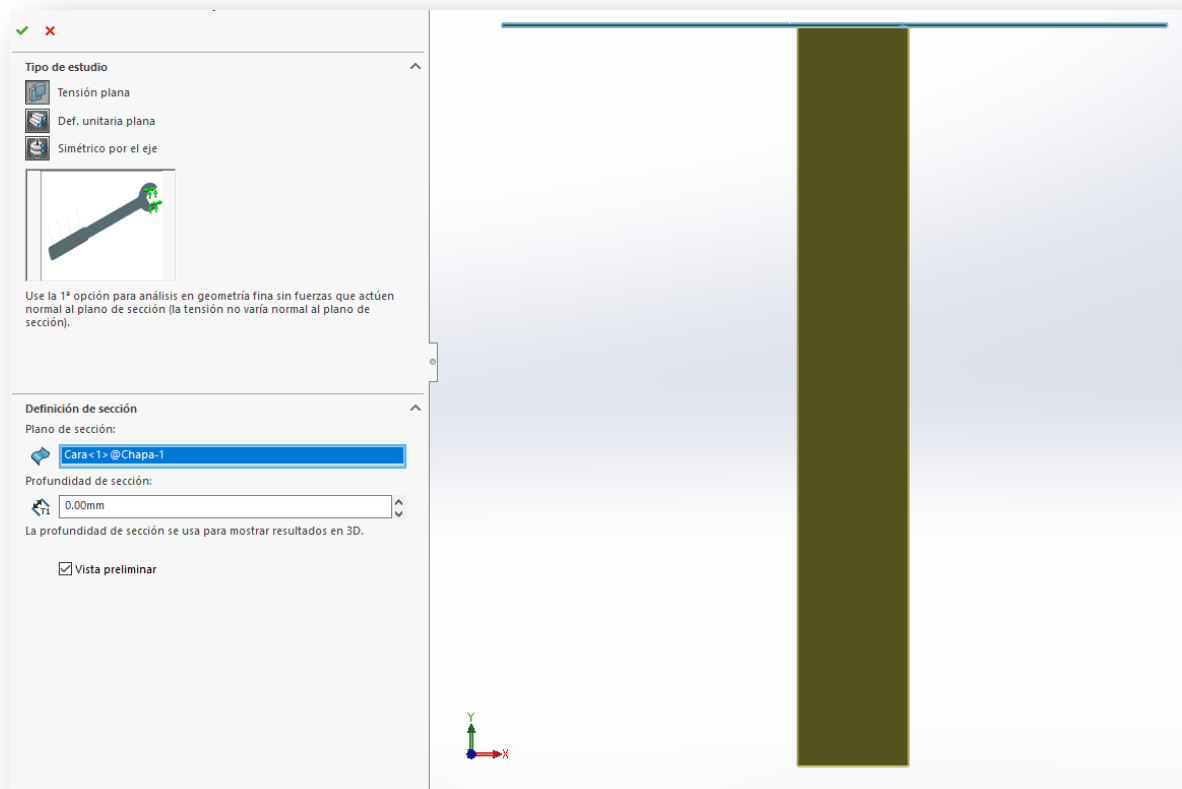


Ilustración 114 - Tensión plana

Para continuar se debe de seleccionar el plano de sección. A este plano se refiere, como si se viera la chapa, desde su parte más delgada, en la Ilustración 114, se observa, que al seleccionar el perfil de la chapa, todo el plano que la contiene queda marcado.

Una vez seleccionado el plano de sección, se debe seleccionar la profundidad de la sección, de esta manera se le dice al programa la longitud de la chapa, o del elemento a estudiar.

Una vez se acepta este cuadro de diálogo, la interface que aparece, es idéntica a la los estudios estáticos anteriores. De hecho se procede de la misma manera. Primero se marcan los materiales, restricciones, seguidamente, los esfuerzos y por último mallado.

Primeramente como en los casos anteriores, se tiene que determinar el material. El material elegido es el C22, según la norma DIN. Un material que se usa habitualmente en los trabajos de doblado de chapa, debido a su bajo límite elástico (200MPa).

En segundo lugar, para poder posicionar las fuerzas, se han aplicado unas líneas de partición sobre la chapa para poder aplicar las restricciones.

Estas líneas, se han dimensionado, para poder aplicar la fuerza a los 11,33 mm y para que el empotramiento de la chapa, disponga de una distancia de 100mm, esto es debido a que el pisador, dispone de esa superficie para presionar la chapa.

Si se observa la Ilustración 115, se puede diferenciar las restricciones en color verde de la fuerza en color magenta.

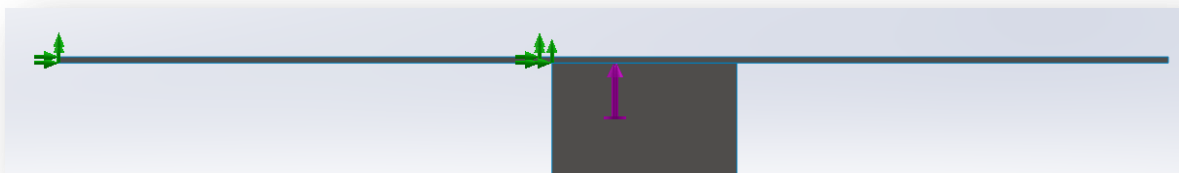


Ilustración 115 - Detalle restricciones chapa.

Si se toma detalle de la foto y se habla de las restricciones, se puede decir que son similares a las antes vistas en otros estudios, esto es, por que dicha restricciones, son restricciones de geometría de referencia, la única diferencia es que están limitando el movimiento en dos ejes.

Al ser un estudio 2D, al limitar el movimiento en estos dos ejes, se limita el movimiento total, y se simula de nuevo un empotramiento. De esta manera y restringiendo los cuatro puntos que limitan las particiones de la chapa, se simula el inicio y el fin del pisador.

Por otro lado, se ha generado una partición a 11,33 mm, para poder aplicar la carga sobre la chapa.

En la Ilustración 115, se puede distinguir también la trancha, la cual se ha añadido, para dar referencia visual a todo el ensamblaje.

La fuerza aplicada ha sido la carga  $Q$ , la cual tiene un valor de 10422,79N, esta carga se ha establecido a una distancia de 11,33mm, la cual cosa ya se ha explicado anteriormente.

Al aplicar la carga, ya es posible la ejecución de la malla.

La malla que se ha utilizado, se puede observar en la Ilustración 116, en la cual se muestra los datos de la misma. Esta malla es tan refinada, debido al espesor tan pequeño de la chapa.

De nuevo es una malla estándar con un ajuste muy fino, lo suficientemente pequeña para adaptarse a toda la geometría de la chapa.

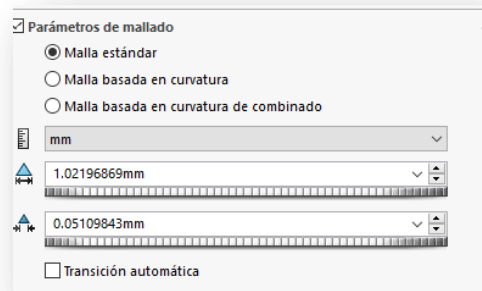


Ilustración 116 - Malla estudio no lineal

Una vez aplicados todos los parámetros del análisis, el resultado que interesa en este análisis, son los obtenidos en relación a los desplazamientos. En la Ilustración 117, se observa la deformación que sufre la chapa al aplicarle dicha fuerza durante un segundo.

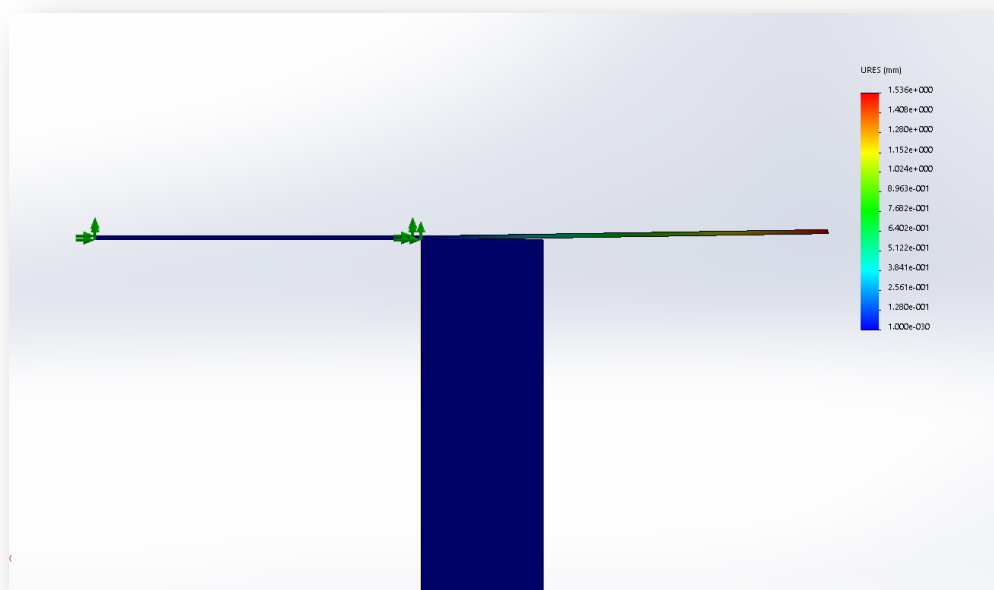


Ilustración 117 - Deformación elástica

Como se ve en dicha imagen, la deformación que sufre esta chapa es de 1,536mm, lo que indica que la hipótesis planteada desde el principio se corrobora al observar este resultado.

Este resultado ayuda a reforzar la hipótesis planteada, y permite que la credibilidad sea mayor.

Para finalizar los estudios por elementos finitos, se va a realizar finalmente un estudio resumido del pasador. Este elemento soporta toda la carga del plegado. Y permite que el plegado se efectúe correctamente.

## 11.6 ANÁLISIS ESTÁTICO PASADOR

En este punto se va a proceder a la explicación del pasador del sistema de bloqueo de la máquina.

### 11.6.1 ELEMENTOS, RESTRICCIONES Y CARGAS

Como elemento final de estudio, se va a realizar el estudio del pasador. Este pasador es el encargado de bloquear los cilindros guía para mantener el pisador y la bancada ejerciendo la presión necesaria para poder realizar las labores de plegado.

Lo que se ha querido representar con el estudio, es el esfuerzo a cortante que resiste el pasador en consecuencia del plegado de la chapa.

El esfuerzo que resiste, se puede encontrar en el punto 11.1.6 Resultados finales. En él se ha determinado la reacción en 'Y, que es la cual se necesita.

En este estudio la fuerza empleada, será 4000N, de esta manera se mayor la carga para aumentar el coeficiente de seguridad del elemento. Puesto que es una pieza fundamental en la máquina. Ya que de él dependerá el acabado final del plegado

De nuevo el sistema es simétrico, por lo tanto, solo se mostrará el resultado de un pasador.

En la Ilustración 118 se observa una vista de corte del pasador, en su anclaje. La parte fija, que se delimita mediante la camisa de del cilindro, y de la placa exterior, tiene un total de 35mm, por otro lado la distancia total del pasador tiene 55mm.

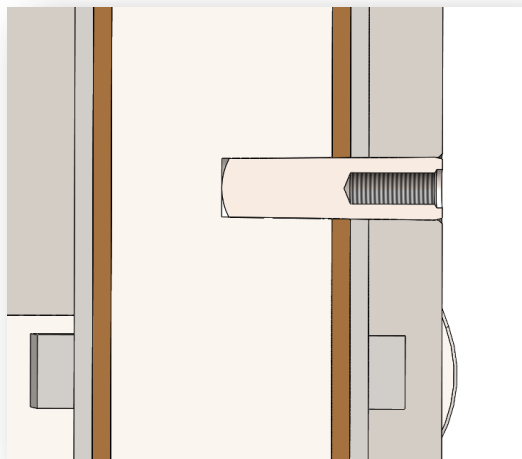


Ilustración 118 - Detalle pasador

Para representar este efecto sobre el pasador, se le ha realizado una línea de partición determinando estas distancias. De este modo se tienen dos superficies distintas unidas entre sí, a las cuales se puede aplicar cargas o restricciones.

Las restricciones que se ha usado, ha sido obviamente la de geometría fija. Esta restricción se ha aplicado sobre la cara fija de 35mm, para representar el empotramiento.

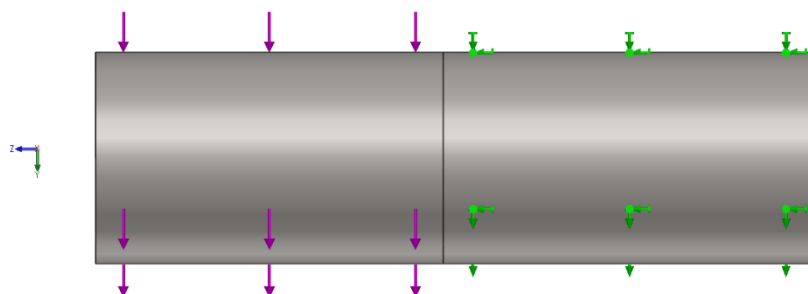


Ilustración 119 - Detalle cargas pasador.

En la Ilustración 119, se observa los dos datos antes mencionados, tanto la línea de partición, como la geometría fija. Además en esta ilustración también se puede observar la carga como se ha aplicado.

Esta carga, está contenida en el plano de movimiento del cilindro. De esta manera se simula como el cilindro, tira del pasador ya que este quiere separarse de su posición pero el pasador no le deja.

Por otro lado el mallado ha sido un mallado estándar.

El material de este perno es de C60, un material usado habitualmente en los pernos y bulones.

## 11.6.2 RESULTADOS

Los resultados obtenidos con este estudio se van a resumir en dos parámetros. Tensión cortante en el plano en el cual se ha aplicado las fuerzas, en este caso el 'Y', el cual se muestra en la Ilustración 119 y desplazamientos en ese mismo plano.

Para comenzar se observa en la Ilustración 120, la tensión cortante en este plano, el 'YZ'.

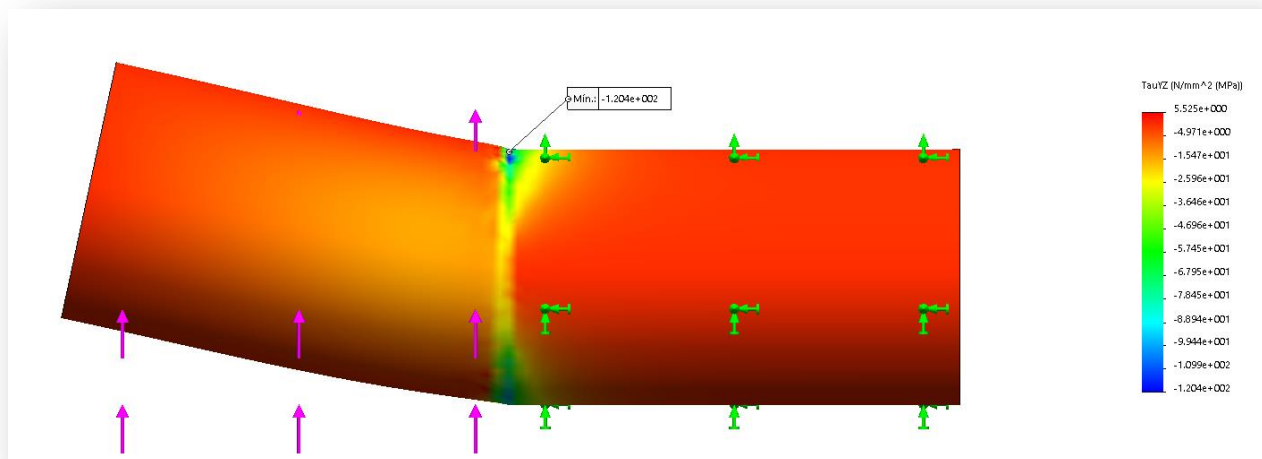


Ilustración 120 - Tensión cortante plano 'YZ'

Como se ve en dicha ilustración, se tiene un elemento trabajando a cortante, el cual existen esfuerzos de tracción y compresión.

Los puntos de mayor tensión, son los de color azul, debido a que son las zonas en la que más sufre el pasador.

En este caso el esfuerzo más elevado del pasador, es un esfuerzo a compresión de la superficie superior.

El valor de estos puntos azules, es de -120.04MPa, es decir, una tensión, considerable, pero no suficiente. Con este rango de tensiones el pasador trabaja perfectamente.

Los desplazamientos generados debido a estas tensiones, se pueden observar, en la Ilustración 121.



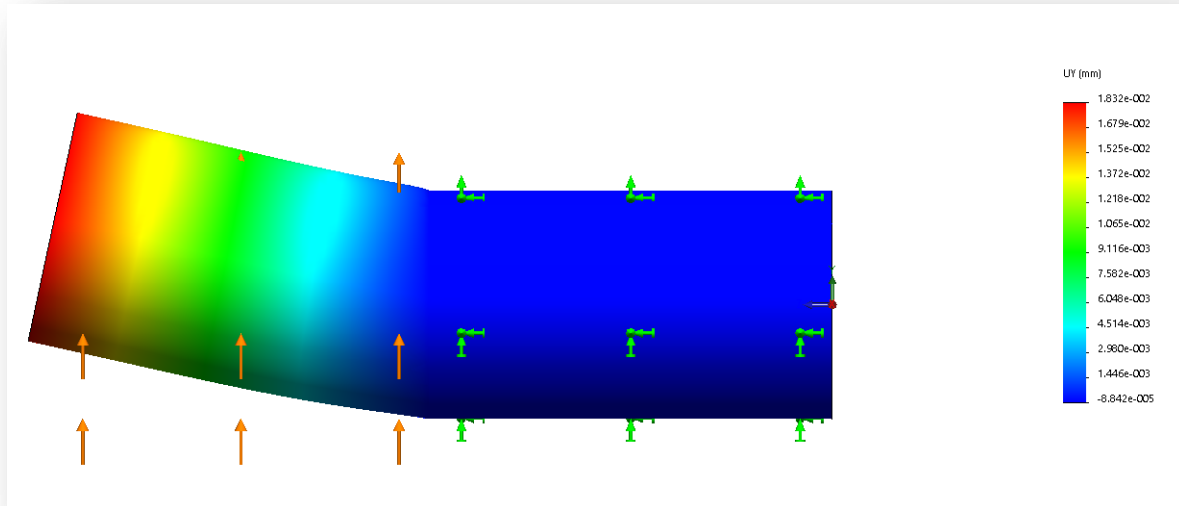


Ilustración 121 - Desplazamientos en 'Y' pasador

Según los resultados, los desplazamientos en este eje, el cual soporta la carga que se le ha aplicado, son de 0.018 mm, es decir, sufre un desplazamiento muy muy reducido, lo que mejorará sin duda el acabado en el plegado. Este resultado, afirma que el diseño del pasador y el dimensionamiento es el correcto, de este modo, se da por zanjado los puntos relacionados con los estudios estáticos.

Para continuar se va exponer las conclusiones de dicho proyecto, y de los distintos puntos.

## 12. CONCLUSIONES

De este tipo de proyecto se puede sacar varias conclusiones referentes a distintos puntos.

Por un lado, respecto al diseño de los elementos, se puede decir que estos, van sufriendo continuamente una evolución constante. Esto se debe a que conforme se va prediseñado los distintos elementos, todos, los que están relacionados entre sí, pueden ser modificados para mejorar sus características o formas.

En este proyecto, se ve una clara evolución de gran parte de los elementos, sobre todo los puntos críticos. Se diferencia sobre todo la evolución que ha sufrido la unión entre el pisador y el cilindro guía, esto es debido a que dicho punto es crítico en cuanto al diseño. Tras el paso de los días, se han podido modificar las distintas partes hasta encontrar un diseño apropiado, el cual luego ha podido ser demostrado mediante los estudios FEM.

Por otro lado, la falta de ecuaciones matemáticas para explicar dicho suceso, ha facilitado el planteamiento de hipótesis de cálculo para solucionar en cierta manera el problema que abarca este proyecto. El planteamiento de esta nueva hipótesis de cálculo ha sido corroborada mediante los estudios no lineales realizados a la chapa. De esta manera se ha podido contrastar con un medio técnico, como son los estudios por elementos finitos, la validez de esta hipótesis.

Los análisis por elementos finitos, han sido una parte importante de este proyecto, como se ha visto, la capacidad de estos de representar la realidad física de los elementos, es ilimitada. El problema viene dado, por la complejidad de dichas estructuras, es decir, para poder imitar o copiar los movimientos, fuerzas, reacciones, cargas etc., de la vida misma, existe una complejidad técnica real. Para poder retransmitir estos elementos físicos, se ha de entender la naturaleza de los mismos y saber representarlos de forma similar. Para ello, este tipo de programas permite una gran variedad de restricciones, cargas y muchos más parámetros de los que se han utilizado.

En resumen, la finalidad de estos estudios y su precisión en cuanto a resultados, variará en función de la representación que se haga de la realidad. Bien es cierto que en este proyecto, se ha intentado simular lo más preciso posible todos los elementos y sus interacciones, de hecho, el que los elementos estén bien simulados, se ha podido comprobar según los resultados obtenidos. Por ejemplo, si se quiere simular una viga biapoyada con una carga distribuida lineal, lo ilógico sería que la flecha máxima se produjera en los apoyos, esto significaría que algo se ha hecho mal.

Otra de las conclusiones que se puede extraer de este proyecto, es la gran cantidad de tipos de plegadoras que existen, sin embargo, se puede observar que la mayor parte por no decir la totalidad, solo ejercen el plegado unidireccional. Las causas de este fenómeno se desconocen, pero esto ayuda a favorecer y apoyar la redacción de este proyecto ‘innovador’ en cuanto menos.

Finalmente, se puede decir, que el diseño de una máquina puede ser realmente complejo, ya que sobre esta repercuten muchos factores. Sobre este proyecto, se han intentado definir la totalidad de los parámetros, excluyendo algunos bien es cierto, ya que se debía de poner límite.

En cuanto a mí personalmente, me ha ayudado a comprender y entender mucho mejor todos los mecanismos mecánicos y el cómo conseguir que realicen ciertas cosas o que respondan de cierta manera a los distintos esfuerzos. Por otro lado en el ámbito laboral, me ha ayudado a evolucionar en cuanto a la forma con la que se diseñan las máquinas o cualquier otro tipo de elemento mecánico.



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Accionamiento de trancha y pisador manual .....	11
Ilustración 2 – Trancha manual y pisador mecánico.....	12
Ilustración 3 – Plegadora manual con pisador electromagnético.....	13
Ilustración 4 –Bisagras que permiten unas mayores luces de plegado.....	14
Ilustración 5 – Plegadora de delantal accionada automáticamente .....	14
Ilustración 6 – Prensas plegadoras .....	15
Ilustración 7 – Prensa plegadora hidro-mecánica .....	16
Ilustración 8 - Plegadora automática positivo-negativo.....	17
Ilustración 9 – Plegadora Hidráulica.....	18
Ilustración 10 - Plegadoras en tándem .....	19
Ilustración 11 – Matrices para el plegado .....	19
Ilustración 12 – Muestra de plegado al aire .....	20
Ilustración 13 – Boceto descriptivo del plegado a fondo.....	20
Ilustración 14 – Imagen del diseño conceptual de la máquina.....	26
Ilustración 15 - Boceto primer subsistema.....	27
Ilustración 16 - Boceto subsistema 2 .....	28
Ilustración 17 - Boceto subsistema 3 .....	29
Ilustración 18 - Bisagra.....	29
Ilustración 19 - Detalle ejes de giro .....	30
Ilustración 20 - Comparativa ejes de giro .....	30
Ilustración 21 - Imagen general prediseño .....	31
Ilustración 22 - Vista trasera máquina .....	32
Ilustración 23 - Detalle biela-manivela y cilindro guía.....	33
Ilustración 24 - Pisador junto con ranuras .....	33
Ilustración 25 - Detalle bisagras y guías .....	33
Ilustración 26 - Detalle unión pisador y cilindro guía.....	34

Ilustración 27 - Detalle unión entre guías .....	35
Ilustración 28 - Nueva disposición de elementos en la bancada principal .....	36
Ilustración 29 - Comparativa de guías .....	37
Ilustración 30 - Conjunto unión cilindro neumático .....	37
Ilustración 31 - Detalle montaje cilindro superior .....	38
Ilustración 32 - Montaje completo plegadora .....	38
Ilustración 33 - Detalle elementos a explicar .....	40
Ilustración 34 - Base guiada .....	41
Ilustración 35 - Punta endurecida .....	42
Ilustración 36 - Detalle de las patas .....	42
Ilustración 37 - Detalle subensamblaje .....	43
Ilustración 38 - Montaje completo bancada .....	44
Ilustración 39 - Pisador superior .....	45
Ilustración 40 – Soporte cilindro guía y pisador .....	46
Ilustración 41 – Apoyo cilindro guía .....	46
Ilustración 42 - Detalle contacto entre elementos .....	47
Ilustración 43 - Detalle conjunto pisador .....	47
Ilustración 44 - Detalle subensamblaje estudio estático .....	48
Ilustración 45 - Trancha superior .....	49
Ilustración 46 - Montaje bisagra .....	50
Ilustración 47 - Guía superior (Izqda.) y Guía inferior (Drcha.) .....	51
Ilustración 48 - Restricciones de movimiento en guías. Inferior (Izqda.), Superior (Drcha.) .....	52
Ilustración 49 - Detalle guías y pletina de unión .....	52
Ilustración 50 - Detalle elementos superiores .....	53
Ilustración 51 - Biela .....	54
Ilustración 52 - Manivela .....	55
Ilustración 53 - Sujeción pasador .....	56
Ilustración 54 – Palanca .....	56
Ilustración 55 - Conjunto Biela-manivela .....	57

Ilustración 56 - Diseño definitivo plegadora .....	63
Ilustración 57 - Doblado en borde .....	65
Ilustración 58 - Croquis representativo de esfuerzos .....	66
Ilustración 59 - Desarrollo estático .....	66
Ilustración 60 - Sección chapa .....	67
Ilustración 61 - Esquema biela-manivela .....	70
Ilustración 62 - Detalle nodos y elementos .....	76
Ilustración 63 - Ensamblaje completo FEM Pisador .....	77
Ilustración 64 - Detalle encastre .....	79
Ilustración 65 – Sujeción sobre caras cilíndricas .....	80
Ilustración 66 - Restricción radial .....	81
Ilustración 67 - Restricción geometría referencia .....	81
Ilustración 68 - Detalle restricción .....	82
Ilustración 69 - Ventana Fuerza/Torsión .....	83
Ilustración 70 - Detalle torsor .....	84
Ilustración 71 - Asignación carga de la gravedad .....	84
Ilustración 72 - Mallado .....	85
Ilustración 73 - Detalle final mallado .....	85
Ilustración 74 - Ejes de coordenadas .....	86
Ilustración 75 - Tensión de vonMises Pisador .....	88
Ilustración 76 - Desplazamientos 'x' en pisador .....	89
Ilustración 77 - Desplazamientos en 'Y' en pisador .....	89
Ilustración 78 - Desplazamiento en 'Z' en pisador .....	90
Ilustración 79 - Desplazamiento resultante - vista 'X' - .....	91
Ilustración 80 - Desplazamiento resultante - vista 'Y' - .....	91
Ilustración 81 – Desplazamiento resultante – Vista 'Z' - .....	91
Ilustración 82 - Reacciones cilindro guía .....	92
Ilustración 83 - Reacciones apoyo cilindro guía .....	93
Ilustración 84 - Ensamblaje completo FEM Bancada .....	94

Ilustración 85 - Distribución de tornillos .....	95
Ilustración 86 - Restricciones anclaje mediante perno .....	97
Ilustración 87 - General de cargas .....	98
Ilustración 88 - Control de mallado .....	100
Ilustración 89 - Vista general mallado bancada .....	101
Ilustración 90 - Tensión de vonMises bancada .....	103
Ilustración 91 - Detalle restricción.....	103
Ilustración 92 - Desplazamientos 'X' Bancada.....	104
Ilustración 93 - Desplazamientos eje 'Y' Bancada .....	105
Ilustración 94 - Desplazamientos en 'Z' Bancada.....	105
Ilustración 95 - Resultante desplazamientos eje 'X' .....	106
Ilustración 96 - Resultante desplazamientos eje 'Y' .....	107
Ilustración 97 - Resultante desplazamientos eje 'Z' .....	107
Ilustración 98 - Vista general estudio trancha.....	108
Ilustración 99 - Geometría fija.....	110
Ilustración 100 - Aplicación par torsor .....	111
Ilustración 101 - Malla trancha .....	112
Ilustración 102 - Mallado y ejes de coordenadas .....	112
Ilustración 103 - Tensión equivalente de vonMises Trancha.....	113
Ilustración 104 - Acumulación de tensiones. ....	114
Ilustración 105 - Desplazamientos resultantes.....	115
Ilustración 106 - Vista general elementos.....	117
Ilustración 107 - Restricción bisagra fija .....	118
Ilustración 108 - Par torsor aplicado .....	120
Ilustración 109 - Tipo de mallado.....	121
Ilustración 110 - Elementos mallados.....	122
Ilustración 111 - Tensión equivalente vonMises en elementos.....	123
Ilustración 112 - Desplazamientos resultantes .....	125
Ilustración 113 - Estudio estático no lineal. ....	127

Ilustración 114 - Tensión plana.....	127
Ilustración 115 - Detalle restricciones chapa. ....	128
Ilustración 116 - Malla estudio no lineal .....	129
Ilustración 117 - Deformación elástica .....	129
Ilustración 118 - Detalle pasador .....	131
Ilustración 119 - Detalle cargas pasador. ....	131
Ilustración 120 - Tensión cortante plano 'YZ' .....	132
Ilustración 121 - Desplazamientos en 'Y' pasador .....	133



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Comparativa general.....	21
Tabla 2 - Comparativa Durezas .....	41
Tabla 3 - Valores Estudio Estático.....	44
Tabla 4 - Resumen resultados .....	48
Tabla 5 - Desplazamientos.....	48
Tabla 6 - Resumen resultados .....	50
Tabla 7 - Resumen resultados estudios estáticos .....	58
Tabla 8 - Resumen elementos .....	59
Tabla 9 - Datos iniciales .....	68
Tabla 10 - Detalle de elementos.....	78
Tabla 11 - Resumen elementos bancada.....	95
Tabla 12 – Detalle elementos.....	109
Tabla 13 - Desplazamientos trancha .....	115
Tabla 14 - Resumen elementos. ....	117
Tabla 15 - Resumen resultados tensión vonMises .....	124
Tabla 16 - Desplazamientos de los elmentos .....	126
Tabla 17 - Presupuesto elementos fabricación externa .....	142
Tabla 18 - Resumen presupuesto elementos fabricación externa.....	143
Tabla 19 - Coste elementos estándares. ....	143
Tabla 20 - Resumen presupuesto elementos estándares .....	144
Tabla 21 - Costes de diseño, montaje y supervisión de las máquinas.....	144
Tabla 22 - Tabla resumen costes de personal .....	144
Tabla 23 - Resumen presupuesto gastos contra beneficios .....	145

## III. PRESUPUESTO

El presupuesto de esta máquina se va a enfocar como si el proyecto fuera para una empresa de montaje y distribución de maquinaria pero que no fabrica sus propias máquinas.

Los elementos se van a subdividir, y se va a mostrar el precio de cada elemento por separado como si se comprara directamente a distintos talleres o fábricas.

Se va a presupuestar, para una serie de 50 máquinas, debido a estos los costes de ciertas piezas serán más reducidos.

Para comenzar se mostrará una tabla con los precios de los elementos de fabricación externa.

**Tabla 17 - Presupuesto elementos fabricación externa**

ELEMENTO	PROVEEDOR	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Creación de molde Pisador y Base guiada	AMD 3D modeling	2	9.000,00 €	18.000,00 €
Fabricación de patas	Soldaduras Planells	150	60,00 €	9.000,00 €
Fabricación subensamblaje cilindro guía	Soldaduras Planells	100	150,00 €	15.000,00 €
Montaje Patas, base guiada y subensamblaje cilindro guía	Soldaduras Planells	50	200,00 €	10.000,00 €
Fabricación punta endurecida	Mecanizados SA	50	150,00 €	7.500,00 €
Guías superiores	Mecanizados SA	200	150,00 €	30.000,00 €
Guías inferiores	Mecanizados SA	200	120,00 €	24.000,00 €
Tranchas	Mecanizados SA	100	500,00 €	50.000,00 €
Bielas	Mecanizados SA	100	90,00 €	9.000,00 €
Manivelas	Mecanizados SA	100	75,00 €	7.500,00 €
Palancas	Mediterránea de mecanizados	100	140,00 €	14.000,00 €
Tope Palanca	Mecanizados Almóguera	100	20,00 €	2.000,00 €
Soporte unión cilindro guía y pisador	Mediterránea de mecanizados	100	300,00 €	30.000,00 €
Apoyo cilindro guía	Mediterránea de mecanizados	100	100,00 €	10.000,00 €
Cilindro guía	Mecanizados Almóguera	100	98,65 €	9.865,00 €
L' para cilindros superiores	Soldaduras Planells	200	50,00 €	10.000,00 €
Acople para actuadores neumáticos	Valenciana de aluminios	200	80,00 €	16.000,00 €
Pletina superior e inferior de unión de guías	Umesal SL	100	120,00 €	12.000,00 €
Sujeción pasador	Mecanizados Almóguera	100	60,00 €	6.000,00 €
Fabricación de bulones	Mecanizados Almóguera	300	55,00 €	16.500,00 €
Fabricación de casquillos de bronce	Broncesval	200	20,00 €	4.000,00 €
Fabricación camisa cilindro guía bronce	Mecanizados Almóguera	100	35,00 €	3.500,00 €

El total del coste de todos los elementos de fabricación externa queda resumido en la Tabla 18, expuesta a continuación

**Tabla 18 - Resumen presupuesto elementos fabricación externa**

<b>Total</b>	<b>313.865,00 €</b>
<b>Total unitario</b>	<b>6.277,30 €</b>

Una vez mostrados todos los elementos de fabricación, se continúa con los elementos estándares

**Tabla 19 - Coste elementos estándares.**

ELEMENTO	PROVEEDOR	REFERENCIA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	Total
Ensamblaje Bisagra US 4513475 A	Machines4U	---	400	19,90 €	7.960,00 €
Circlip	RODALSA	DIN471-35x1,5	100	0,12 €	12,00 €
Circlip	RODALSA	DIN471- 30x1,5	100	0,11 €	11,00 €
Circlip	RODALSA	DIN 472-40X1,75	100	0,13 €	13,00 €
Pasador cónico	IBAIATOR SAL	ISO-8736-a-16x60-C	100	3,05 €	305,00 €
Pasador Paralelo	IBAIATOR SAL	DIN 8735 ISO 8x55	400	0,58 €	232,00 €
Cilindro compacto europeo	ASCO numatics	ISO -21287	200	95,64 €	19.128,00 €
Cilindro compacto europeo	ASCO numatics	ISO – 21287	150	108,63 €	16.294,50 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M5x20-8.8	800	0,03 €	24,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M8x50-8.8	400	0,06 €	24,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M8x25-8.8	800	0,05 €	40,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M8x20-8.8	600	0,05 €	30,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M10x55-8.8	600	0,08 €	48,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M10x100-8.8	200	0,09 €	18,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M10x45-8.8	800	0,08 €	64,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M12x20-8.8	400	0,09 €	36,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M14x40-8.8	400	0,10 €	40,00 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M16x100-8.8	350	0,01 €	4,55 €
Tornillo Allen	SIJA	DIN 912 M16x45-8.8	400	0,11 €	44,00 €
Tornillo Avellanado	SIJA	DIN 7991 M12x20-8.8	1200	0,09 €	108,00 €
Tornillo Avellanado	SIJA	DIN 7991 M12x30-8.8	400	0,09 €	36,00 €

Una vez mostrados el desglose de todos los elementos estándares, se continúa con el total del coste de dichos elementos.

**Tabla 20 - Resumen presupuesto elementos estándares**

<b>TOTAL</b>	<b>44.472,05 €</b>
<b>Total unitario</b>	<b>889,44 €</b>

Finalmente, se muestra el coste de montaje de todos los elementos, de diseño de la máquina y de supervisión en el montaje. Se ha tenido en cuenta, el total de las máquinas a fabricar.

**Tabla 21 - Costes de diseño, montaje y supervisión de las máquinas**

<b>TAREA</b>	<b>PERSONAL</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRECIO HORA</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Diseño e implantación del proyecto	Ingeniero mecánico	1000	20,00 €	20.000,00 €
Montaje de la máquina y ajuste	Mecánico	2400	15,00 €	36.000,00 €
Supervisión montaje y comprobación de elementos	Ingeniero mecánico	450	20,00 €	9.000,00 €

De nuevo se muestra el coste total de diseño, montaje y supervisión de las máquinas.

**Tabla 22 - Tabla resumen costes de personal**

<b>Total unitario</b>	<b>65.000,00 €</b>
<b>Total unitario</b>	<b>1.300,00 €</b>

Después de mostrar esta tabla, se tiene todos los costes directos de fabricación de la serie de 50 máquinas.

Todos los gastos se podrán ver resumidos en la siguiente tabla.

**Tabla 23 - Resumen presupuesto gastos contra beneficios**

<b>Gasto Total máquinas</b>	<b>423.337,05 €</b>
<b>Gasto total unitario</b>	<b>8.466,74 €</b>
<b>Precio de venta inicial</b>	<b>13.000,00 €</b>
<b>Beneficios totales</b>	<b>650.000,00 €</b>
<b>Beneficios - Gastos</b>	<b>226.662,95 €</b>

Finalmente al observar la Tabla 23, se puede ver que el beneficio por la primera serie de 50 máquinas sería de 226.662,95 €.

Con esto se finaliza el presupuesto del proyecto.

## IV. PLIEGO DE CONDICIONES

### 13. ANEXO. PLIEGO DE CONDICIONES

#### 13.1 INTRODUCCIÓN

A través de este Pliego de Condiciones, se va a establecer las condiciones técnicas, económicas, administrativas, facultativas y legales a fin de que el objeto del proyecto pueda materializarse en las condiciones especificadas.

Para comenzar, se iniciará la redacción, por las condiciones generales, se describirá el objeto del proyecto. Por otra parte, también se va destacar, el personal, las responsabilidades y las disposiciones legales y de carácter técnico.

En segundo lugar, se va a redactar, las cláusulas administrativas con la correspondiente documentación.

Finalmente, se describirán las prescripciones técnicas y particulares así como las disposiciones finales; en ellas se ampliará la información acerca de las medidas de seguridad aplicadas para este proyecto, los materiales y equipos necesarios así como las condiciones de ejecución necesarias para llevar a cabo el proyecto.

## 13.2 CONDICIONES GENERALES

Tal y como se comenta en el punto 13.1 Introducción, a lo largo del apartado de Condiciones Generales se detallará condiciones todos los elementos de implantación de este proyecto.

---

### 13.2.1. OBJETO

El objetivo de este proyecto es el diseño y desarrollo mecánico de una máquina plegadora. Para llevar a cabo este fin, se va a hacer uso de todos los elementos disponibles, así como, programas informáticos, documentos teóricos etc.

Se ha hecho un sondeo del mercado y debido a que las características de la máquina que se necesita no existen, el único sistema de hallar dicho elemento, es el diseño del mismo.

---

### 13.2.2. PERSONAL

En cuanto al personal implicado la construcción e implementación del proyecto, se destaca al ingeniero mecánico encargado del diseño y desarrollo del proyecto y a dos técnicos mecánicos experimentados para el montaje de las máquinas.

Sobre los elementos recibidos para el montaje de las máquinas, se dicta que aquellos componentes parcial o totalmente defectuosos deben ser devueltos sin posibilidad alguna de reclamación por parte del proveedor. Todos los técnicos e ingenieros involucrados en la implementación y construcción de la máquina deberán estar suficientemente cualificados para realizar las tareas requeridas eficientemente, mediante formación y experiencia adecuadas. La formación de los técnicos deberá ser llevada a cabo de acuerdo con un plan de desarrollo, siempre previamente a las actividades implicadas en el montaje.

---

### 13.2.3. RESPONSABILIDADES

El director del proyecto, en este caso el ingeniero mecánico, deberá de asumir, las responsabilidades propias desde el principio a fin de que la construcción de la máquina, para que se lleve a cabo correctamente y ésta se vea reflejada acorde a los requerimientos establecidos en el punto 6. Requisitos de Diseño.

---

### 13.2.5. DISPOSICIONES LEGALES Y DE CARÁCTER TÉCNICO

Todos los trabajos deberán cumplir la normativa establecida en el proyecto aprobado, y deberá de ser desarrollado por el ejecutor del Proyecto, teniendo en cuenta las actividades y los servicios que se llevarán a cabo en concordancia con el artículo – de este Pliego, según se establece en el contrato.

El Contratista será responsable de obtener las licencias y permisos correspondientes que se requieren para la ejecución.

---

### 13.2.6. FECHA DE INICIO

Para llevar a cabo el desarrollo de la máquina, el ingeniero, dejará constancia de la fecha de inicio del Proyecto, tanto en la memoria del mismo como en los planos y presupuestos. Cualquier modificación llevada a cabo que suponga alguna diferencia respecto al presente Proyecto será notificada y aprobada por la dirección del proyecto.

## 13.3 CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS

La elaboración de este proyecto viene justificado por la necesidad de la creación de una máquina plegadora capaz de plegar bidireccionalmente y que cumpla con los requisitos de diseño expuestos en el punto 6. La redacción del presente proyecto se llevará a cabo de acuerdo a la norma UNE 157001, añadiendo aquella información necesaria y propia de la tipología del proyecto.

---

### 13.3.1. DOCUMENTACIÓN

El proyectista entregará una copia del presente proyecto a la empresa, pasando a ser propiedad de la misma a partir de ese momento. A su vez, el proyectista mantendrá en completa confidencialidad los detalles acerca del diseño y de la ejecución del proyecto, así como, planos diseños específicos y soluciones de los distintos problemas.

A continuación se va a ampliar la información disponible acerca de las partes de los documentos que serán entregados a la empresa.

#### 13.3.1.1. MEMORIA

---

En la memoria del Proyecto se va a especificar los detalles de fabricación y de ejecución de este proyecto, las piezas empleadas, los elementos fabricados y todos los resultados obtenidos de los distintos estudios realizados.

#### 13.3.1.2. PRESUPUESTO

---

En el presupuesto se va a detallar el coste los elementos implicados en la fabricación y montaje de esta máquina como, el coste del personal empleado para montaje, desarrollo y diseño de la misma.

Se va a reflejar el coste de las piezas de fabricación, además de todos los elementos comerciales que se han utilizado, para una tirada de 50 máquinas.

#### 13.3.1.3. PLIEGO DE CONDICIONES

---

En el Pliego de Condiciones se va a regular y a establecer las condiciones técnicas, económicas, administrativas, facultativas y legales existentes entre el desarrollador del proyecto y el contratista que se encargará de ejecutarlo.

#### 13.3.1.4. PLANOS

---

Se va a incluir en la documentación, todos los planos de fabricación de todas las piezas existentes diseñadas especialmente para la fabricación de esta máquina plegadora.

#### 13.3.1.5. ANEXOS A LA MEMORIA

---

Dentro de los Anexos a la memoria se va a adjuntar todos los cálculos realizados para la ejecución de este proyecto, así como, las hipótesis de cálculo planteadas, y todos los estudios por elementos finitos realizados en este proyecto.



## 13.4 PRESCRIPCIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES

A través de las prescripciones técnicas se detallan las especificaciones más relevantes relacionadas con los elementos y materiales empleados en la fabricación de la máquina incluyéndose los requisitos que deben cumplir las piezas ensambladas de todo el conjunto.

### 13.4.1. ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN Y MONTAJE

Se detalla a continuación los requisitos más relevantes que el contratista deberá considerar para una correcta ejecución de este proyecto

#### 13.4.1.1. ELEMENTOS MECÁNICOS

Todos los elementos mecánicos fabricados para esta máquina deberán cumplir las leyes y ordenanzas actuales dentro del ámbito del sector del metal.

Así mismo siempre se deberá usar los materiales especificados en los planos de fabricación, así como, respetar las tolerancias geométricas, también especificadas en dichos planos. De esta manera se asegura un correcto funcionamiento de todos los elementos y la seguridad de que ningún elemento va a fallar por situaciones no diseñadas.

Al tratarse de elementos mecánicos se deberá poner especial atención a las labores de mantenimiento. Así como, se asegurará de que la calidad de los materiales es la establecida por la ley.

#### 13.4.1.2. ENSAMBLAJE Y UNIONES

A lo largo de la ejecución del proyecto, se deberá poner especial atención a todas las uniones atornilladas y soldadas llevadas a cabo para que sean correctas, aplicar el par establecido según el tipo de tornillo y ejecutar la soldadura según especificaciones. De lo contrario, el funcionamiento de la máquina y la resistencia de los componentes podrían verse afectados.

### 13.4.1.3. ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN

---

La empresa ejecutante del proyecto será la encargada de facilitar a sus operarios todos los elementos de protección individual (EPIS), necesarios para su correcta ejecución.

Esta máquina cumplirá con las ordenanzas actuales de salud en el trabajo. Así como se facilitará a los operarios que vayan a ejecutar trabajos con estas máquinas, un manual de uso de la instalación.

---

## 13.4.2 ESPECIFICACIONES DE LA EJECUCIÓN

Se detalla en este apartado las especificaciones correspondientes en relación a la ejecución del proyecto, se destacan, aspectos tales como la confidencialidad, las normas de uso y los requisitos humanos necesarios.

### 13.4.2.1 CONFIDENCIALIDAD

---

Toda la información obtenida a partir de la máquina creada por el proyectista, así como, las conclusiones extraídas a partir de los estudios realizados sobre estos elementos y, el proceso de ejecución de la máquina y de los componentes especificados, debe ser almacenada y no será revelada, salvo permiso expreso de la empresa propietaria de este proyecto.

### 13.4.2.2 NORMAS DE USO

---

Antes del montaje de la máquina y su puesta en funcionamiento, se deberá de asegurar, en primera posición, que el lugar de trabajo y de localización de la máquina sea el correcto. Este lugar deberá de disponer de los elementos necesarios para la ejecución de plegados de chapa, así como, todos los elementos de seguridad.

El encargado de ejecutar las distintas acciones con la máquina deberá de ser conocedor de los peligros que existen en este tipo de máquinas y deberá prepararse para poder subsanar cualquier problema que pueda surgir. Además deberá de ser conocedor perfectamente del funcionamiento de la máquina, y de todas las acciones que esta puede realizar.

Una vez listo, la máquina se deberá instalar de forma que cualquier persona que desee pueda realizar trabajos con ella.

Finalmente una vez instalada, el encargado de la revisión del trabajo, deberá de cerciorarse que se han cumplido todos los puntos establecidos de desarrollo y montaje de la misma en su lugar de funcionamiento.

### 13.4.2.3. REQUISITOS HUMANOS

---

La instalación de los distintos elementos, deberá de realizarse por personas con las capacidades adecuadas para este tipo de montajes. Además, deberá de llevarse a cabo una supervisión total durante todo el proceso, de una persona que conozca a la perfección el proceso de montaje y de ejecución de la máquina y todos sus derivados.

## 13.5 DISPOSICIONES FINALES

Finalmente, se dispone de las condiciones relacionadas con elementos auxiliares y medidas de seguridad necesarias para la ejecución del proyecto.

---

### 13.5.1 ELEMENTOS AUXILIARES

La empresa a la cual está destinada la ejecución del proyecto deberá proporcionar los materiales y las piezas necesarias para la ejecución del mismo. De este modo, el contratista deberá aportar, previo al inicio de los trabajos, para su aprobación correspondiente, entre otra, la siguiente documentación de carácter general:

- Programa de montaje y ensamble
- Plan secuencial de trabajo con la descripción de actividades y documentos aplicables
- Plan de puntos de inspecciones de actividades
- Procedimientos de inspección o pruebas.

El contratista generará, durante el período de ejecución de los trabajos, entre otra, la documentación relacionada seguidamente:

- Permisos necesarios para la ejecución del trabajo previo a su inicio de acuerdo con los procedimientos administrativos propios de la empresa.
- Actualización de programa de montaje de trabajos, semanalmente
- Informe semanal de las actividades realizadas o en curso, y personal empleado, que deberá entregarse al día siguiente al correspondiente informe
- Informe de incidencias, si procede, que se entregarán en el momento de producirse, ya sean físicas o documentales.
- Cumplimentación de los registros previstos en los planes secuenciales de trabajos y procedimientos utilizados.
- Cumplimentación del plan de puntos de inspección por especialidades

- Plan de pruebas, previo al comienzo de las mismas, considerando que la calibración de componentes será realizada por el contratista.

---

### 13.5.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Los administradores estarán obligados a imponer señalización de las instalaciones empleando los recursos adecuados para ello y notificándolo al personal, tomando siempre las medidas adecuadas para prevenir accidentes laborales.

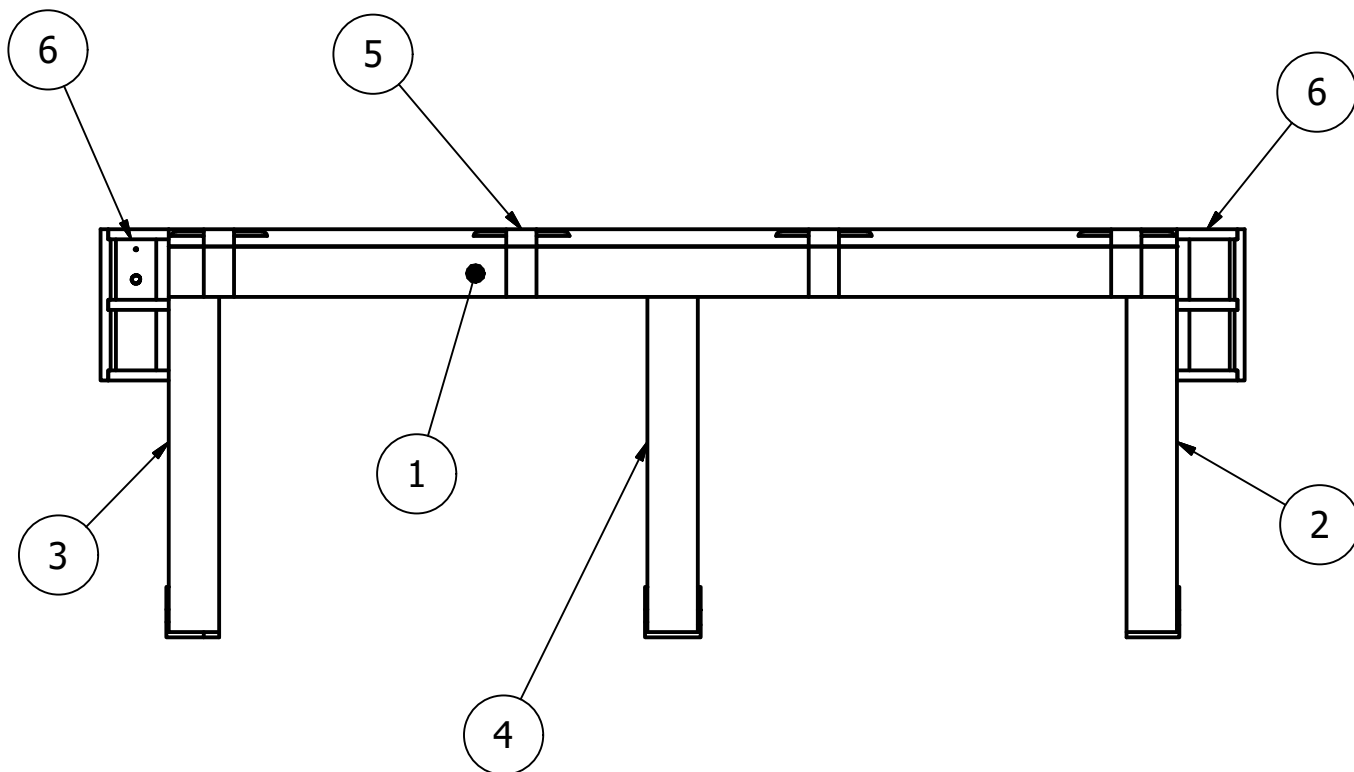
---

### 13.5.3. TIEMPO DE EJECUCIÓN

En cuanto al tiempo de ejecución del proyecto, a partir del momento en el cual se establece la planificación, consideramos un tiempo total de ejecución de proyecto de 1,5 meses hasta la fabricación de la primera máquina.


## V. PLANOS

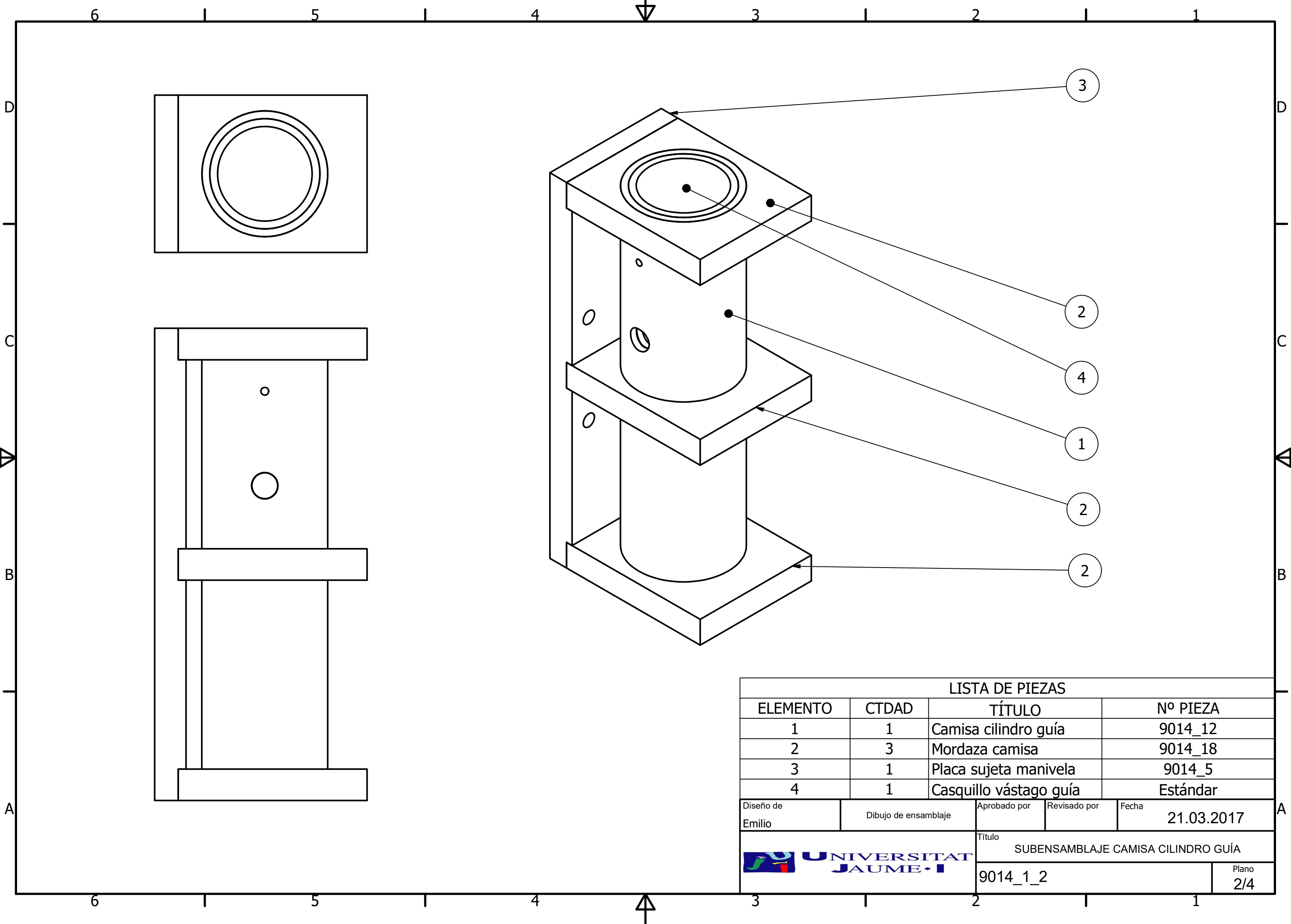




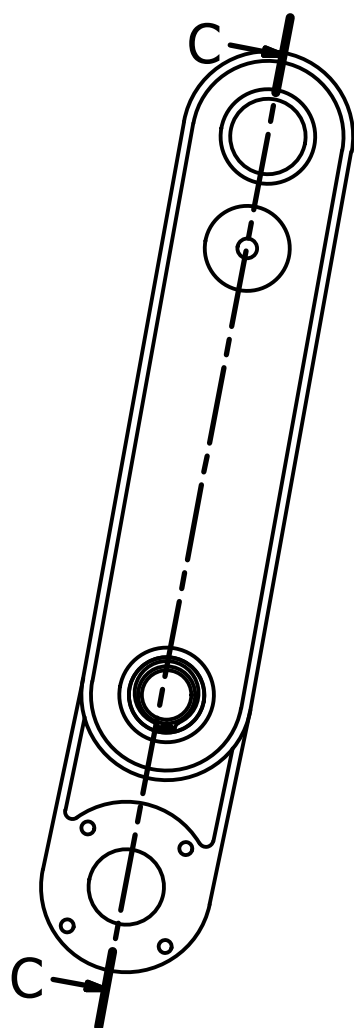
### LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	TÍTULO	Nº PIEZA
1	1	Base guiada	9014_2
2	1	Pata exterior	9014_11
3	1	Pata exterior	9014_11
4	1	Pata central	9014_4
5	1	Punta base guiada	9014_21
6	2	Subensamblaje camisa cilindro guía	9014_1_2

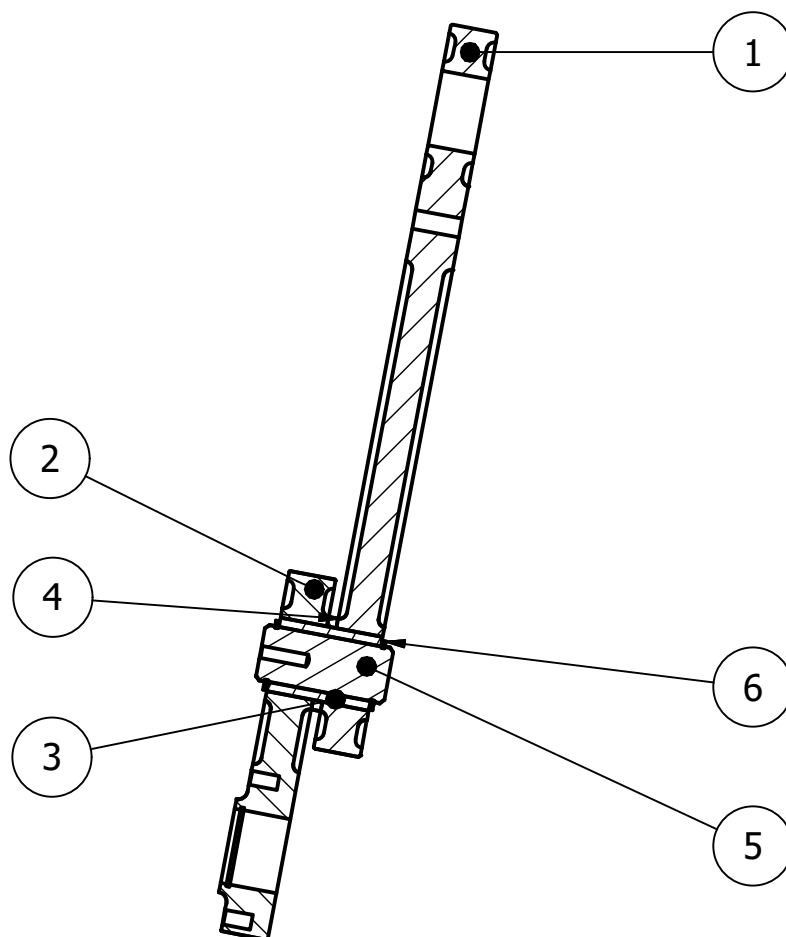
Diseño de Emilio	Dibujo de ensamblaje	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017
 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>		Título <b>SUBENSAMBLAJE BANCADA</b>		
		9014_1_1		Plano 1/4





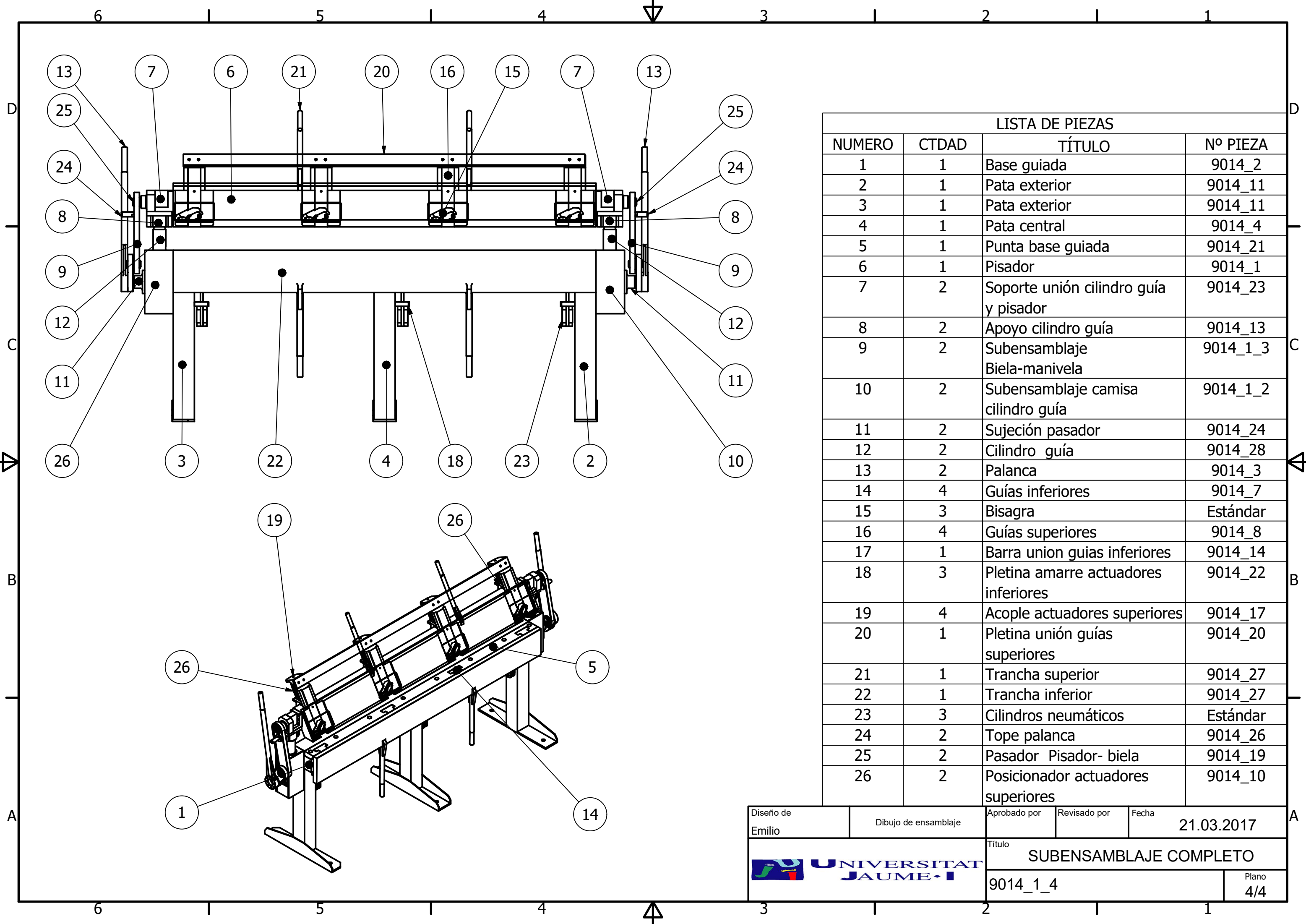


C-C ( 1 : 4 )




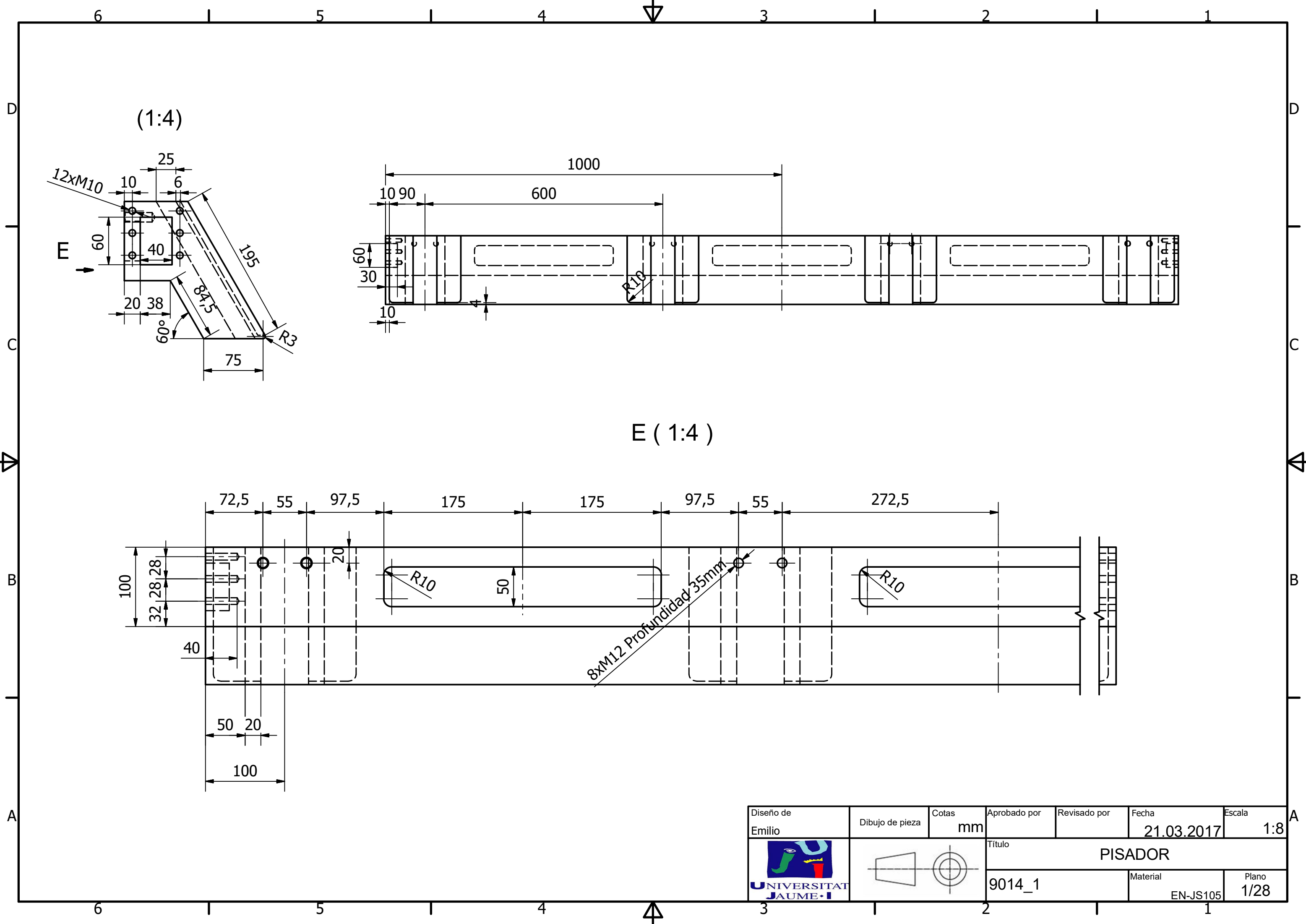
# LISTA DE PIEZAS


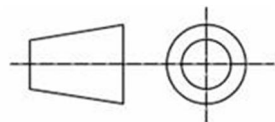
ELEMENTO	CTDAD	TÍTULO	Nº PIEZA
1	1	Biela	9014_9
2	1	manivela	9014_6
3	1	Casquillo biela-manivela	Estándar
4	1	Arandela biela-manivela	Estándar
5	1	Bulon biela-manivela	9014_15
6	2	Anillo seeger DIN 471	Estándar
Diseño de Emilio	Dibujo de ensamblaje		Aprobado por
		Revisado por	Fecha 21.03.2017
 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>		Título <b>SUBENSAMBLAJE BIELA-MANIVELA</b>	
		9014_1_3	Plano 3/4

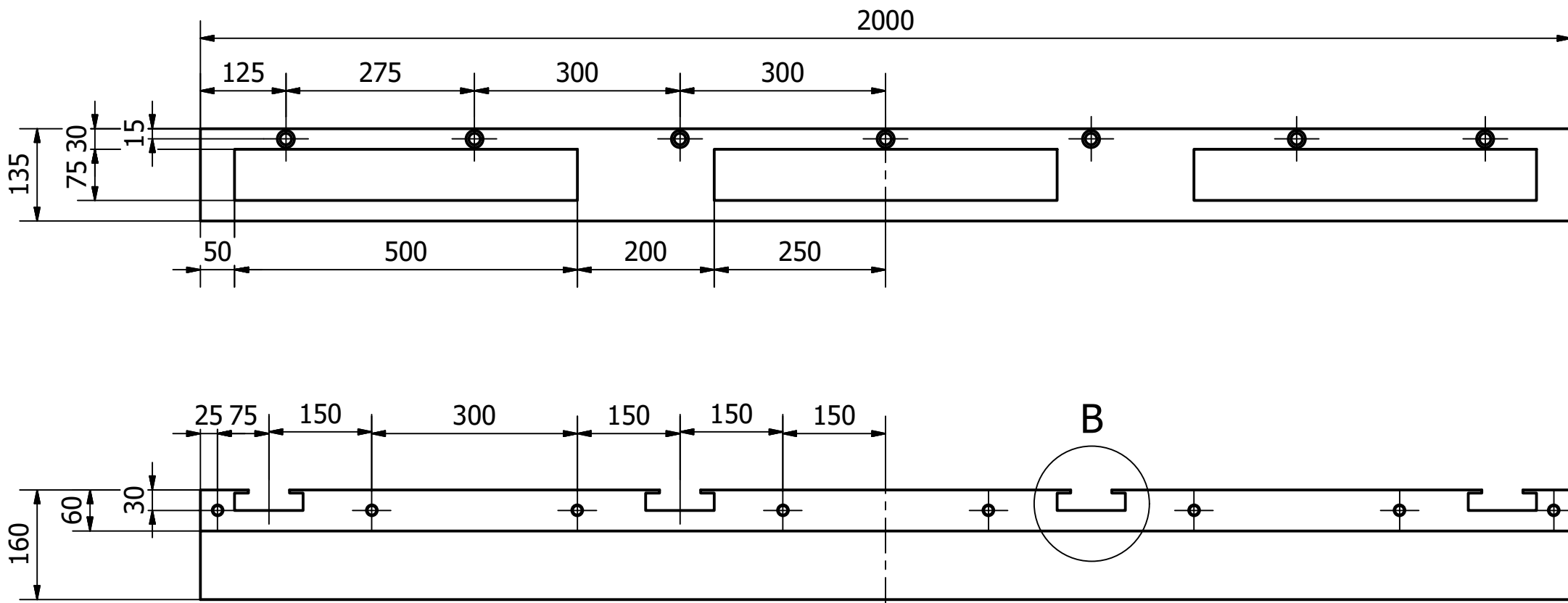


LISTA DE PIEZAS			
NUMERO	CTDAD	TÍTULO	Nº PIEZA
1	1	Base guiada	9014_2
2	1	Pata exterior	9014_11
3	1	Pata exterior	9014_11
4	1	Pata central	9014_4
5	1	Punta base guiada	9014_21
6	1	Pisador	9014_1
7	2	Soporte unión cilindro guía y pisador	9014_23
8	2	Apoyo cilindro guía	9014_13
9	2	Subensamblaje Biela-manivela	9014_1_3
10	2	Subensamblaje camisa cilindro guía	9014_1_2
11	2	Sujeción pasador	9014_24
12	2	Cilindro guía	9014_28
13	2	Palanca	9014_3
14	4	Guías inferiores	9014_7
15	3	Bisagra	Estándar
16	4	Guías superiores	9014_8
17	1	Barra union guias inferiores	9014_14
18	3	Pletina amarre actuadores inferiores	9014_22
19	4	Acople actuadores superiores	9014_17
20	1	Pletina unión guías superiores	9014_20
21	1	Tranca superior	9014_27
22	1	Tranca inferior	9014_27
23	3	Cilindros neumáticos	Estándar
24	2	Tope palanca	9014_26
25	2	Pasador Pisador- biela	9014_19
26	2	Posicionador actuadores superiores	9014_10

Diseño de Emilio	Dibujo de ensamblaje	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017
		Título SUBENSAMBLAJE COMPLETO		
		9014_1_4		Plano 4/4

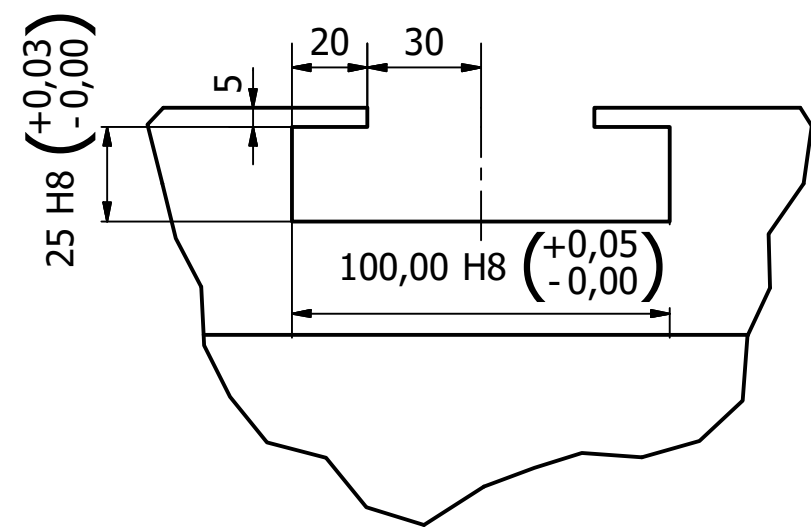
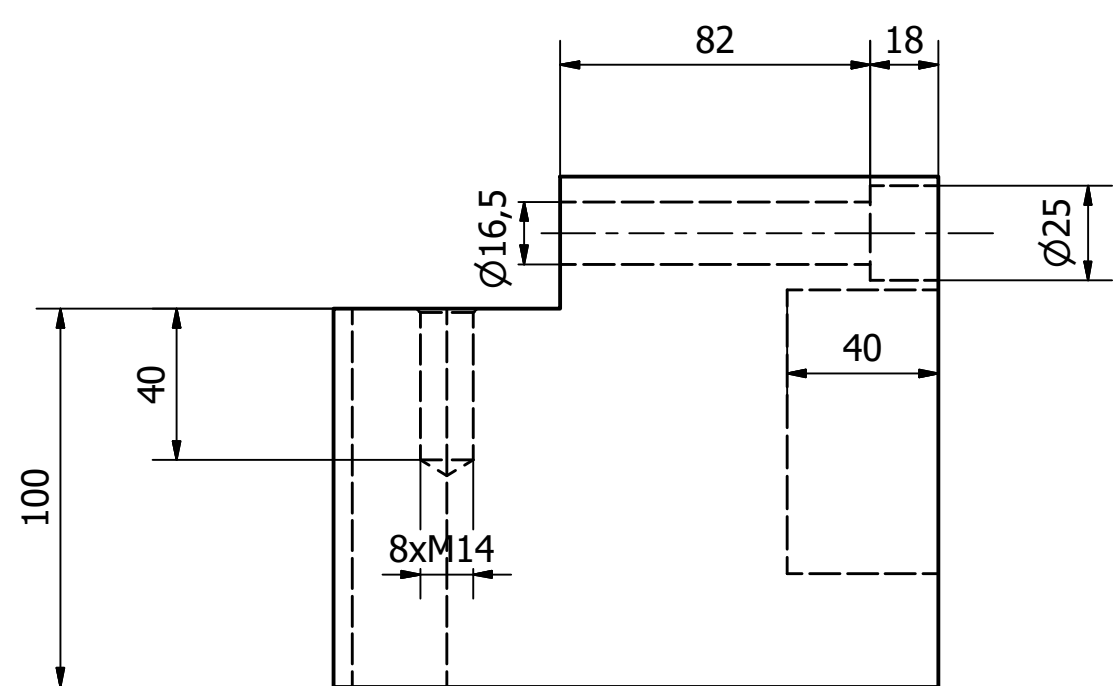



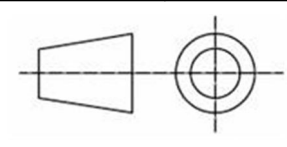
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:8
		Título PISADOR				Plano 1/28
		9014_1			Material EN-JS105	

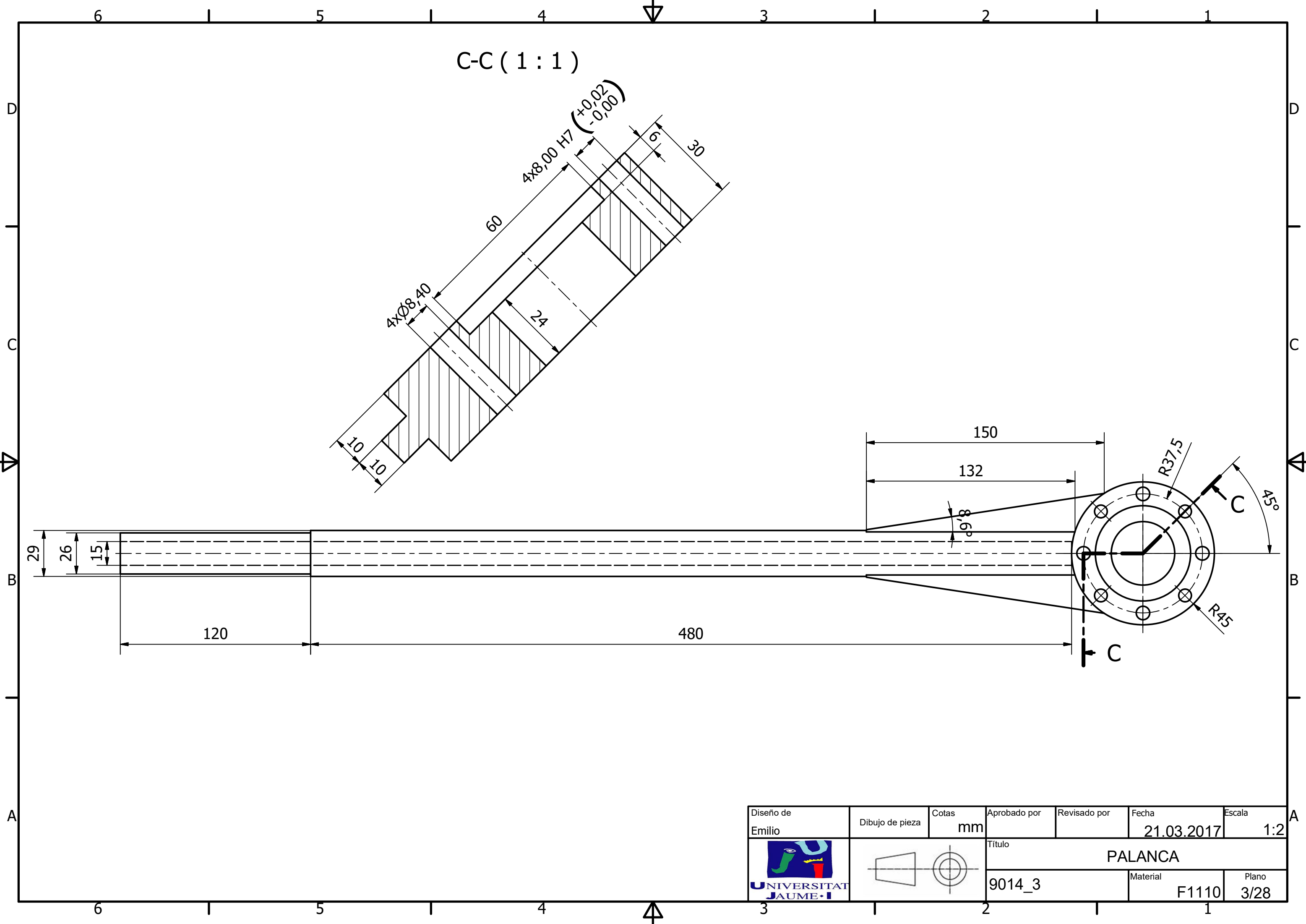


C ( 1:2 )

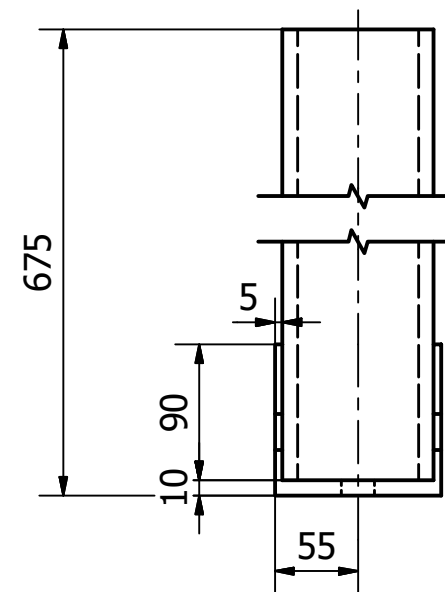
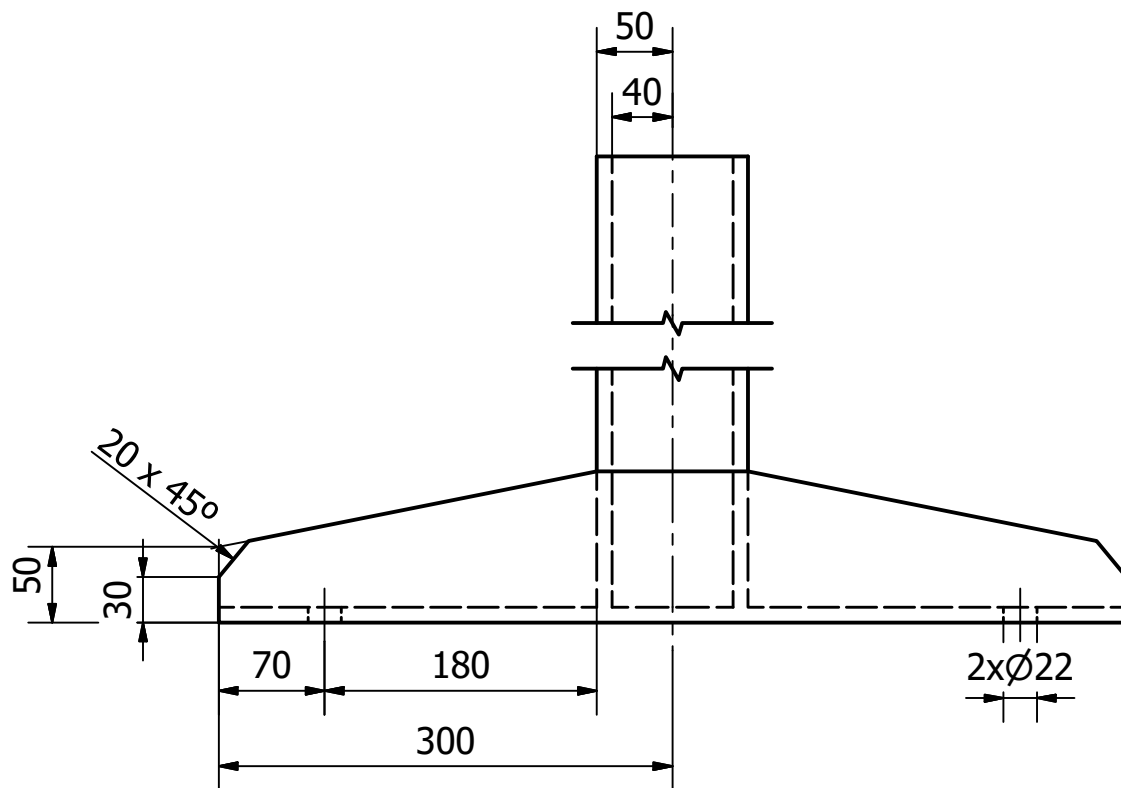
B ( 1:2 )



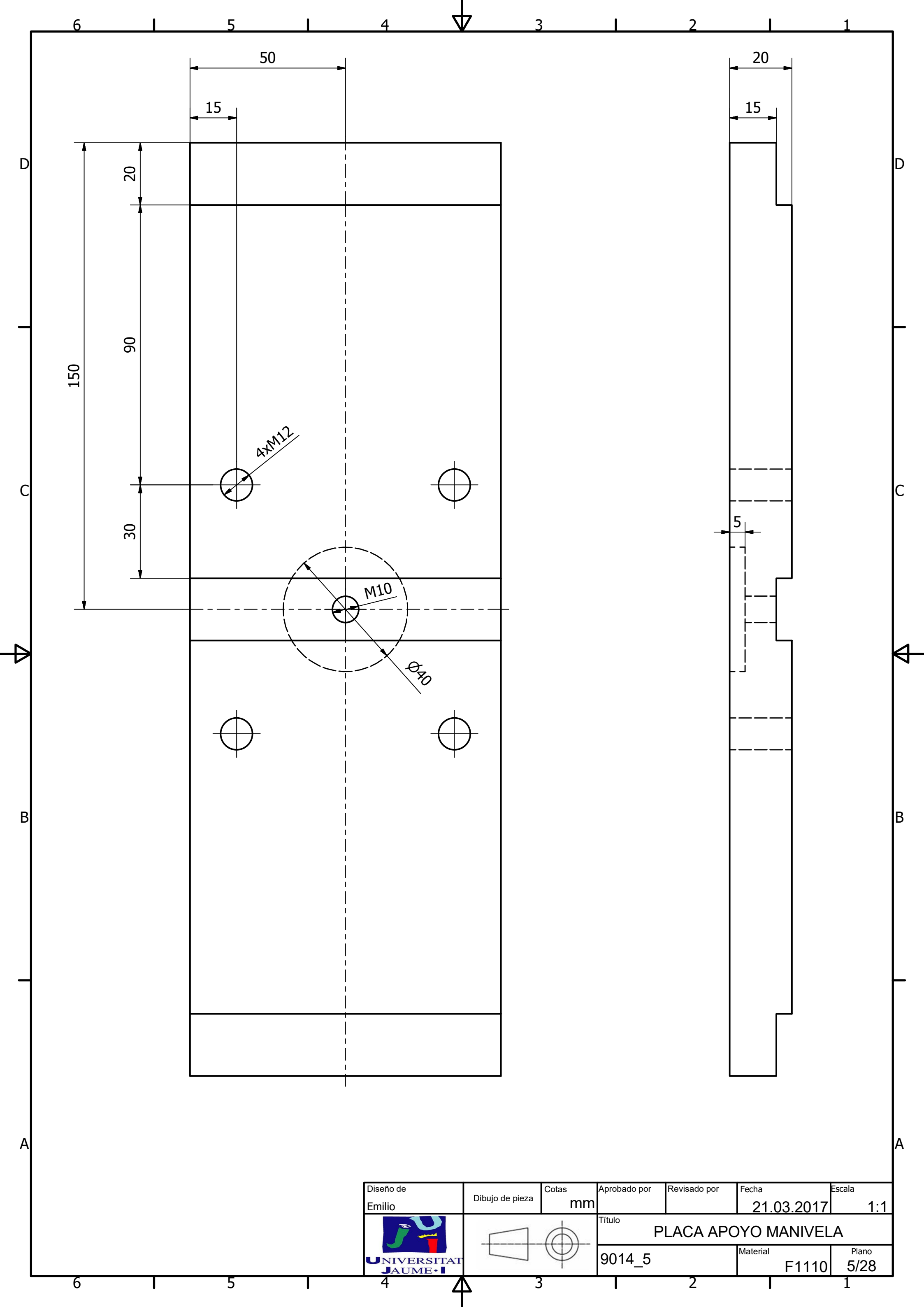
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:8
		Título BASE GUIADA				Plano 2/28
		9014_2		Material EN-JS105		

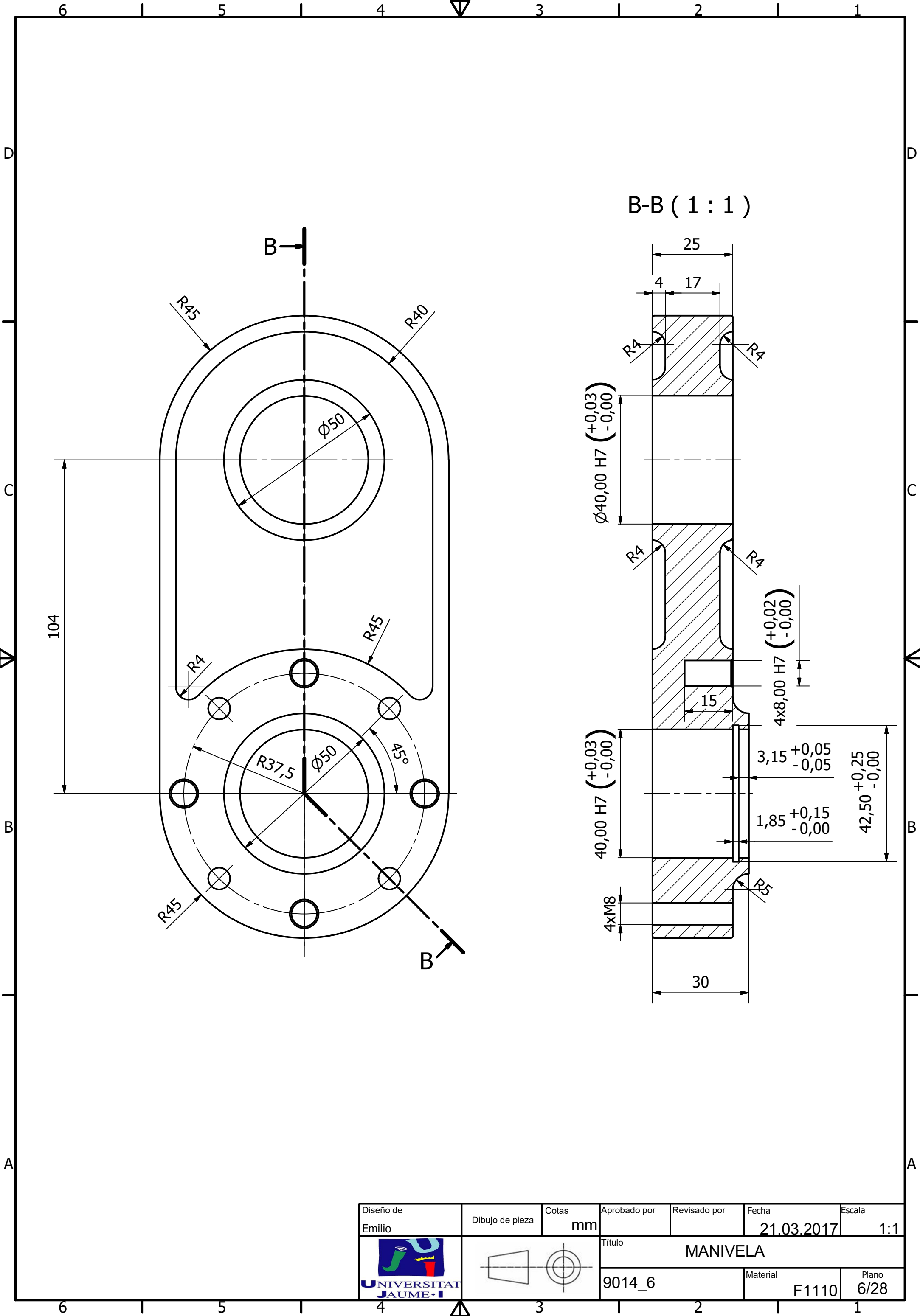


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:2
		Título PALANCA				Plano 3/28
		9014_3	Material F1110			



Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:5
 UNIVERSITAT JAUME I		Título PATA CENTRAL				
		9014_4	Material S235JR		Plano 4/28	

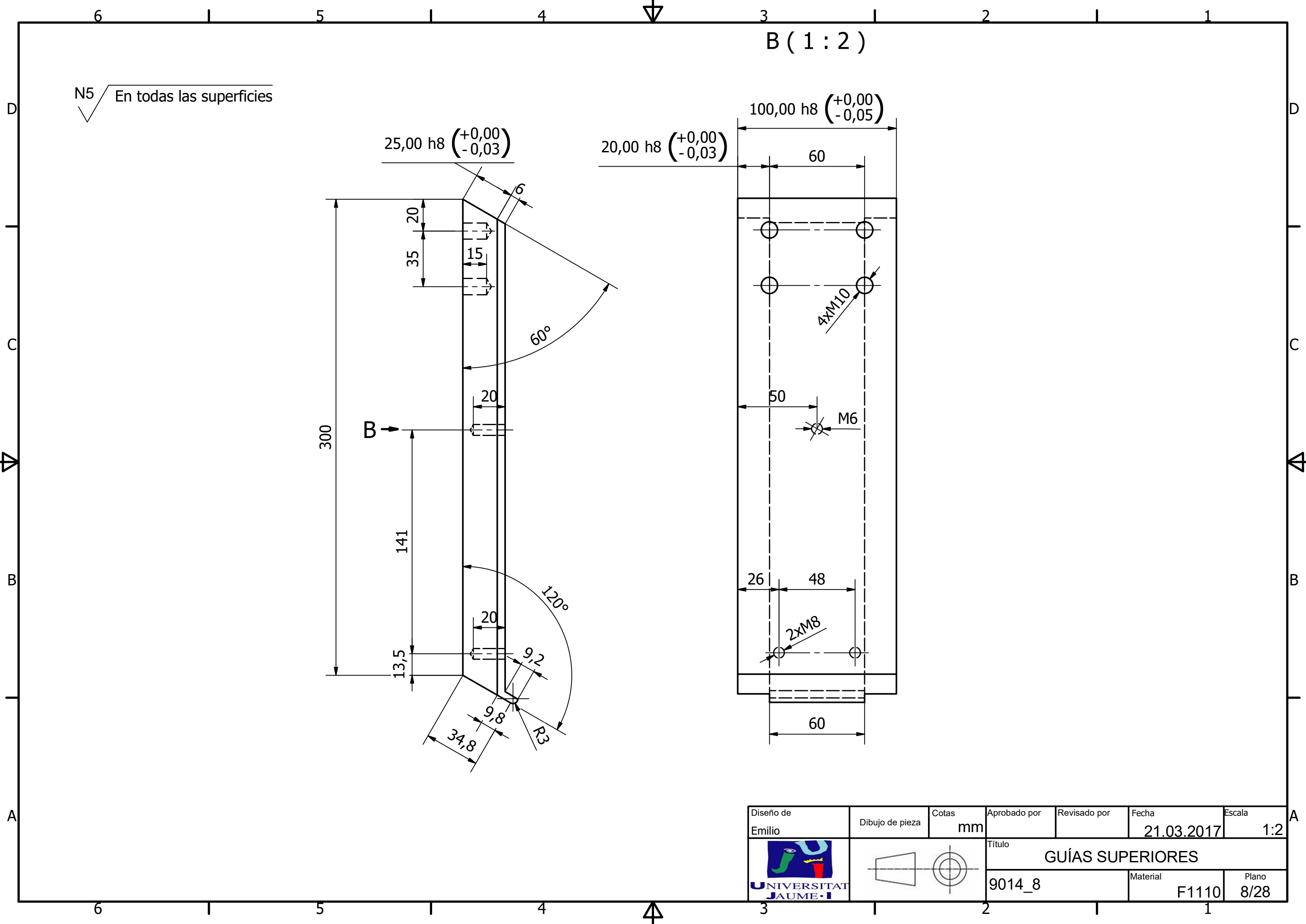



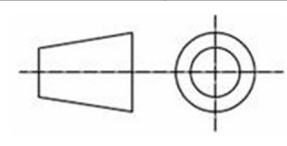


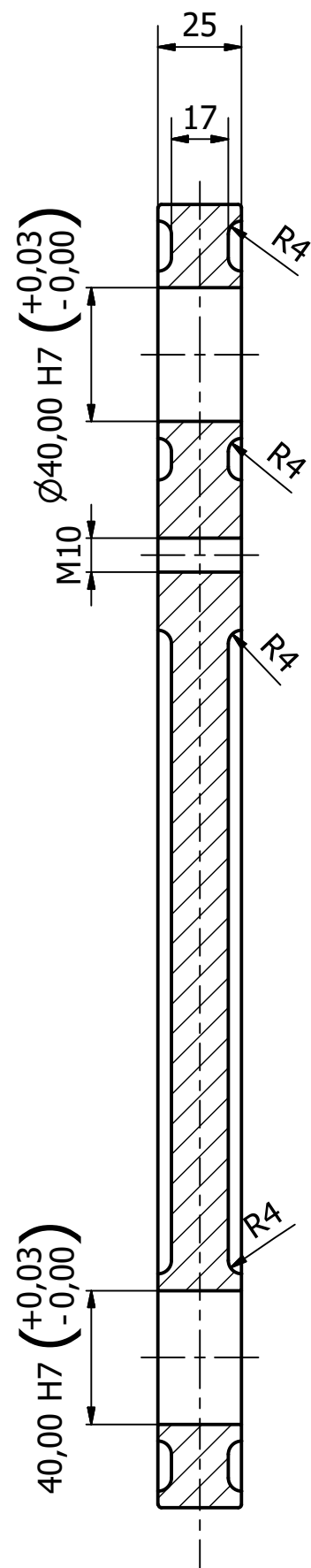
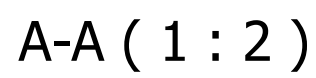
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
		Título MANIVELA				Plano 6/28
		9014_6				Material F1110





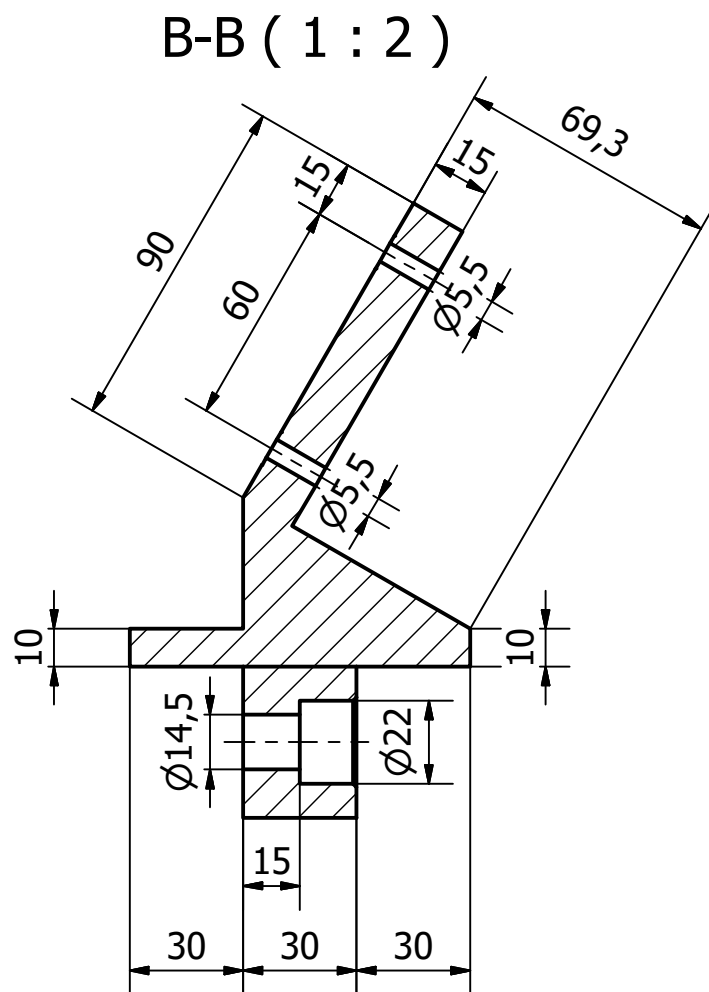
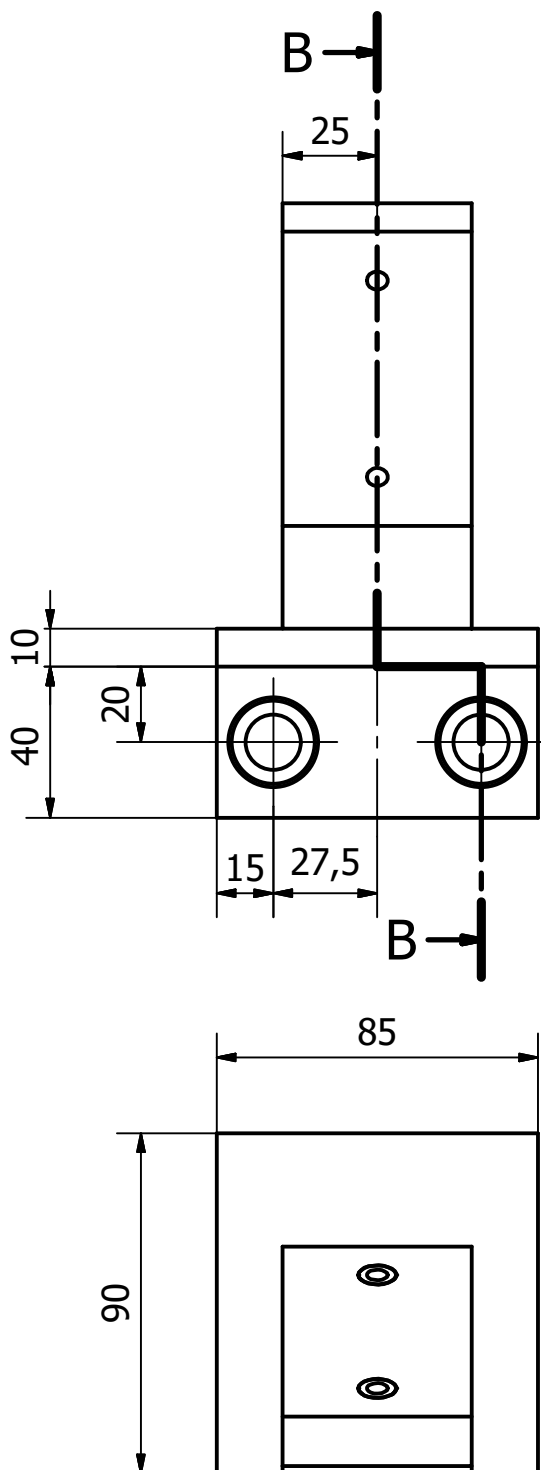



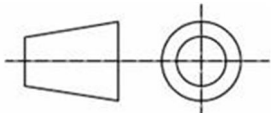


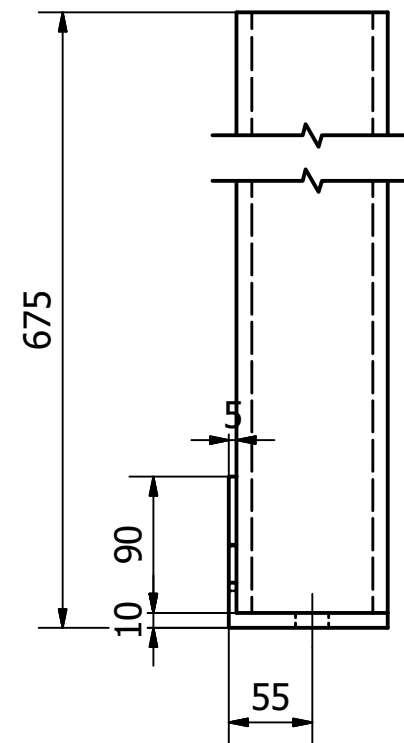
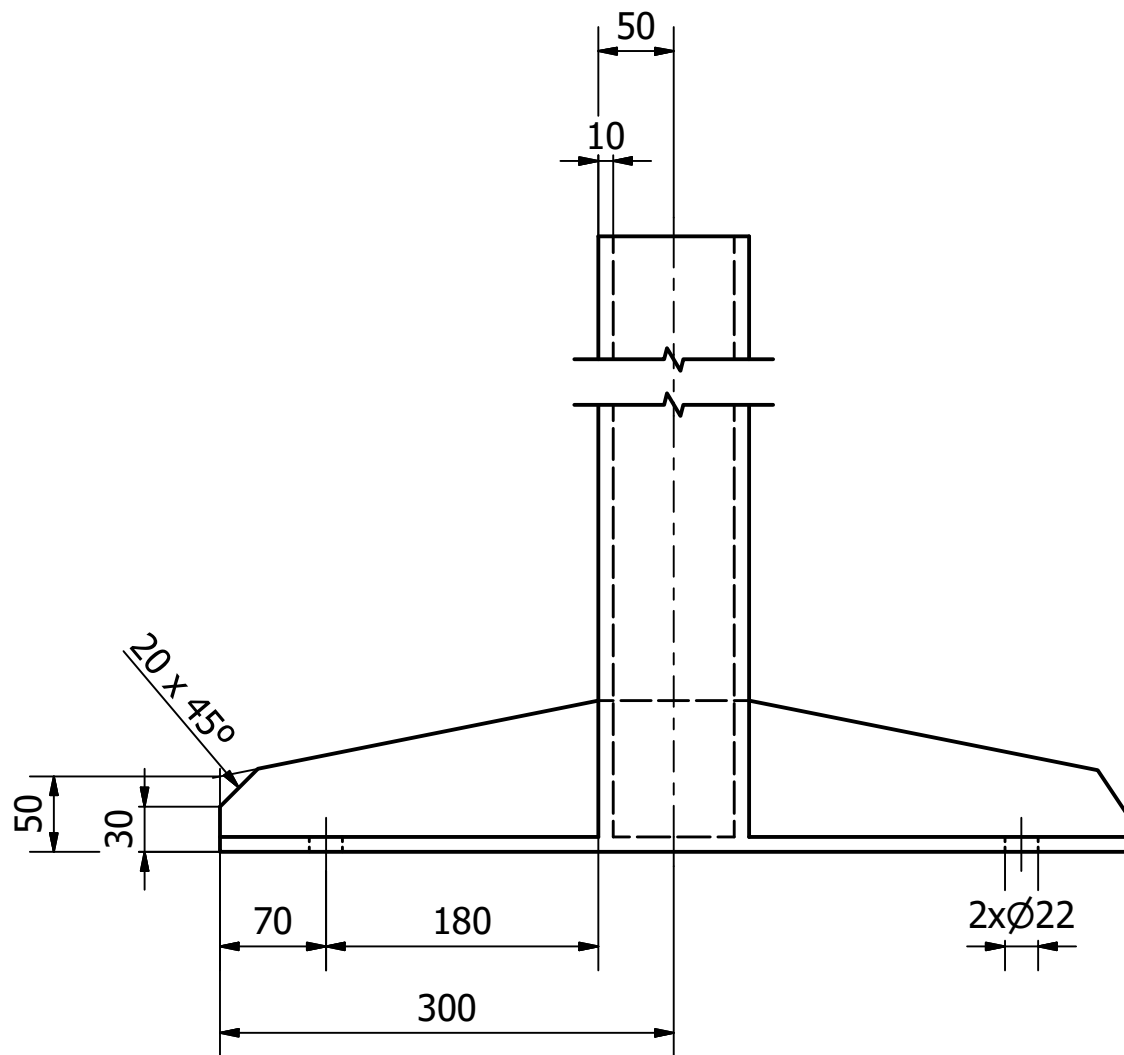
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:2
		Título GUÍAS SUPERIORES				Plano 8/28
		9014_8		Material F1110		


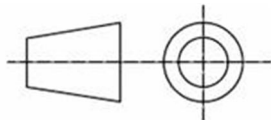


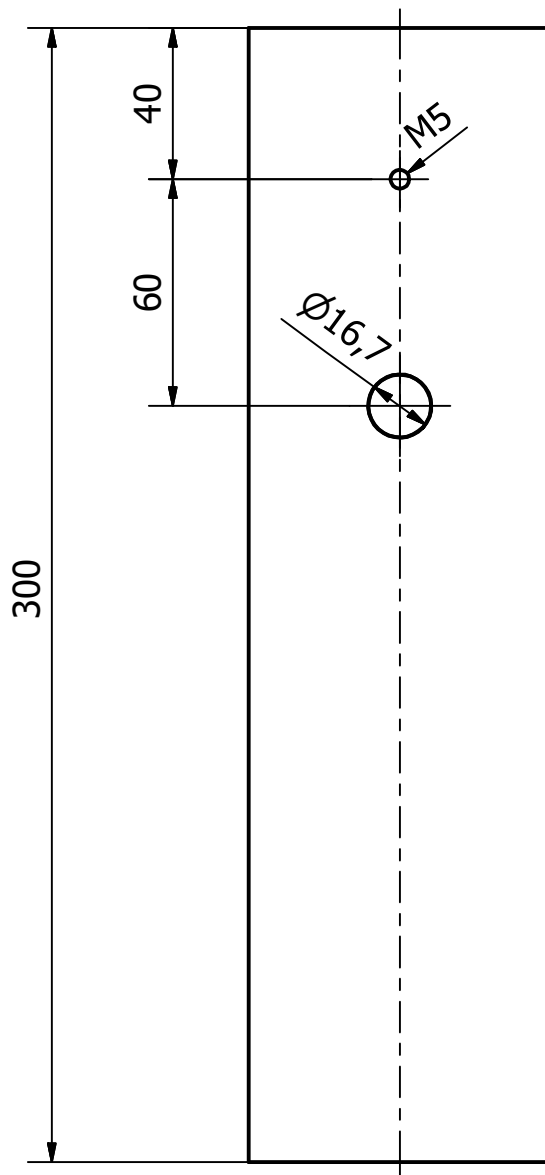
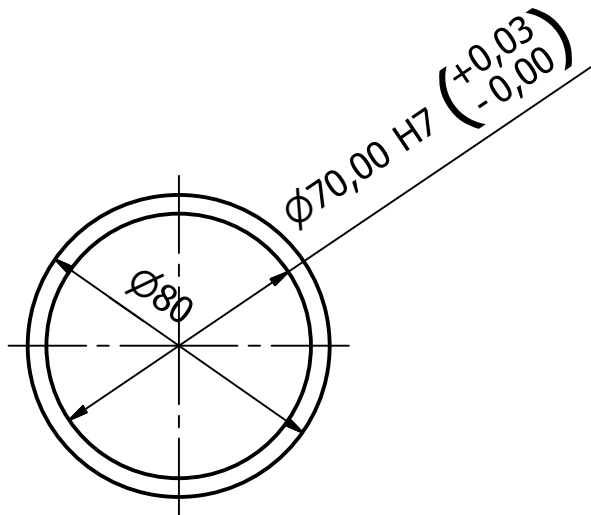
Diseño de	Dibujo de pieza	Cotas	Aprobado por	Revisado por	Fecha	Escala
Emilio		mm			21.04.2017	1:2
 UNIVERSITAT JAUME I		Título				
		BIELA				
			9014_9	Material	F1110	Plano 9/28


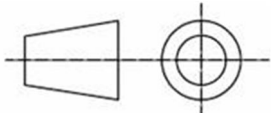


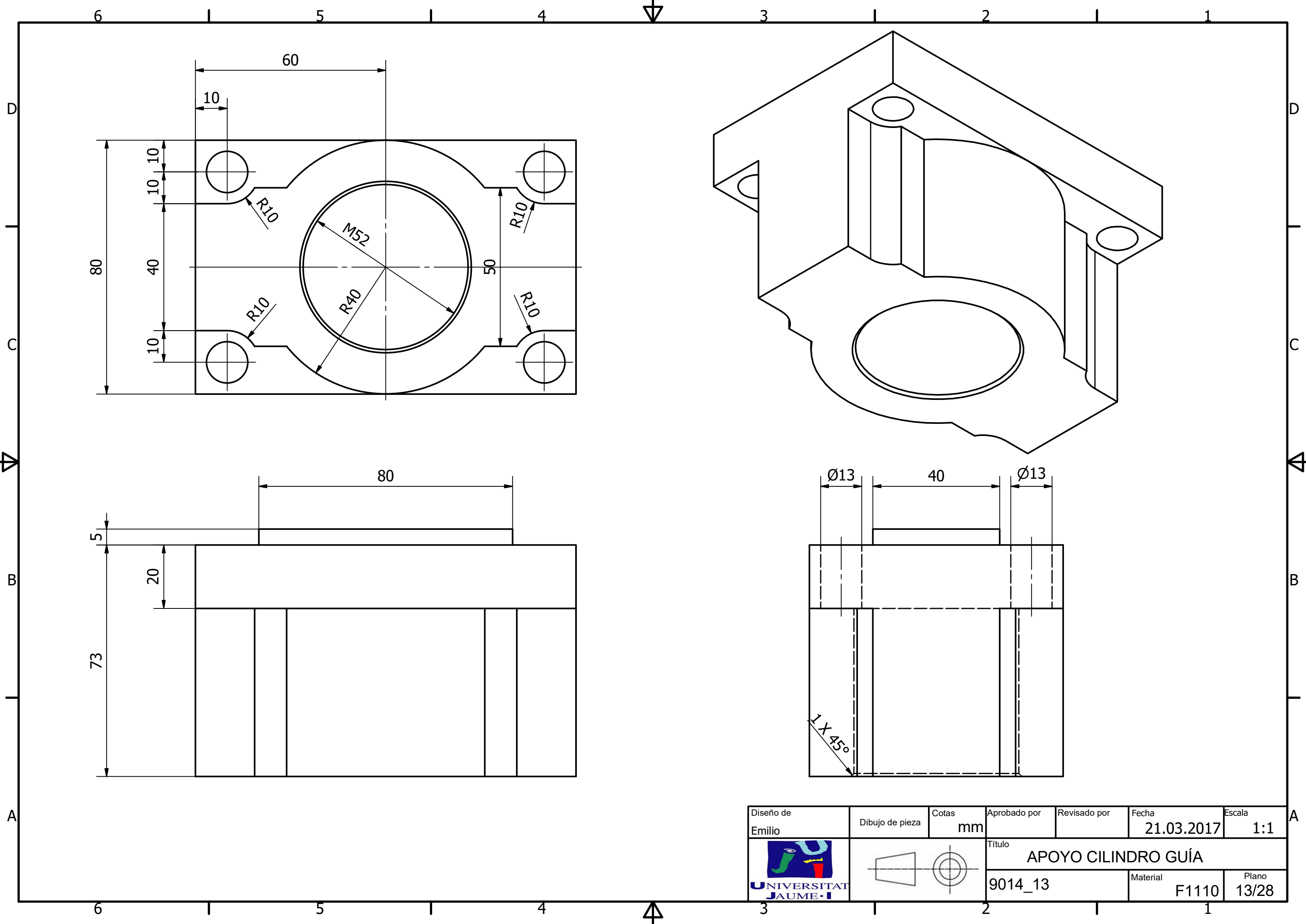
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21/03/2017	Escala 1:2
		Título POSICIONADOR ACTUADORES SUPERIORES			Plano 10/28	
		9014_10			Material Aluminio	

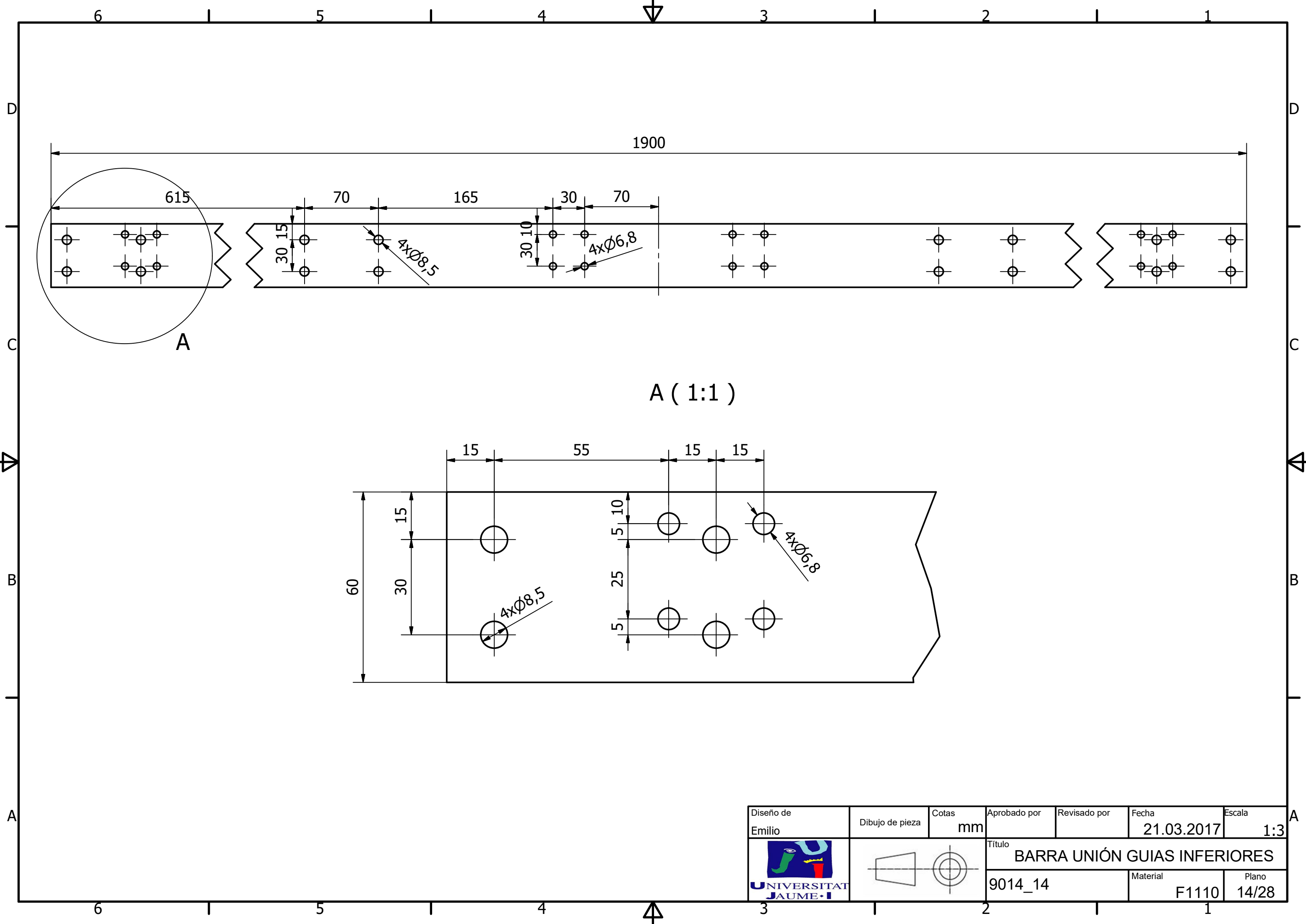


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título PATAS EXTERIORES				
		9014_11		Material S235JR	Plano 11/28	



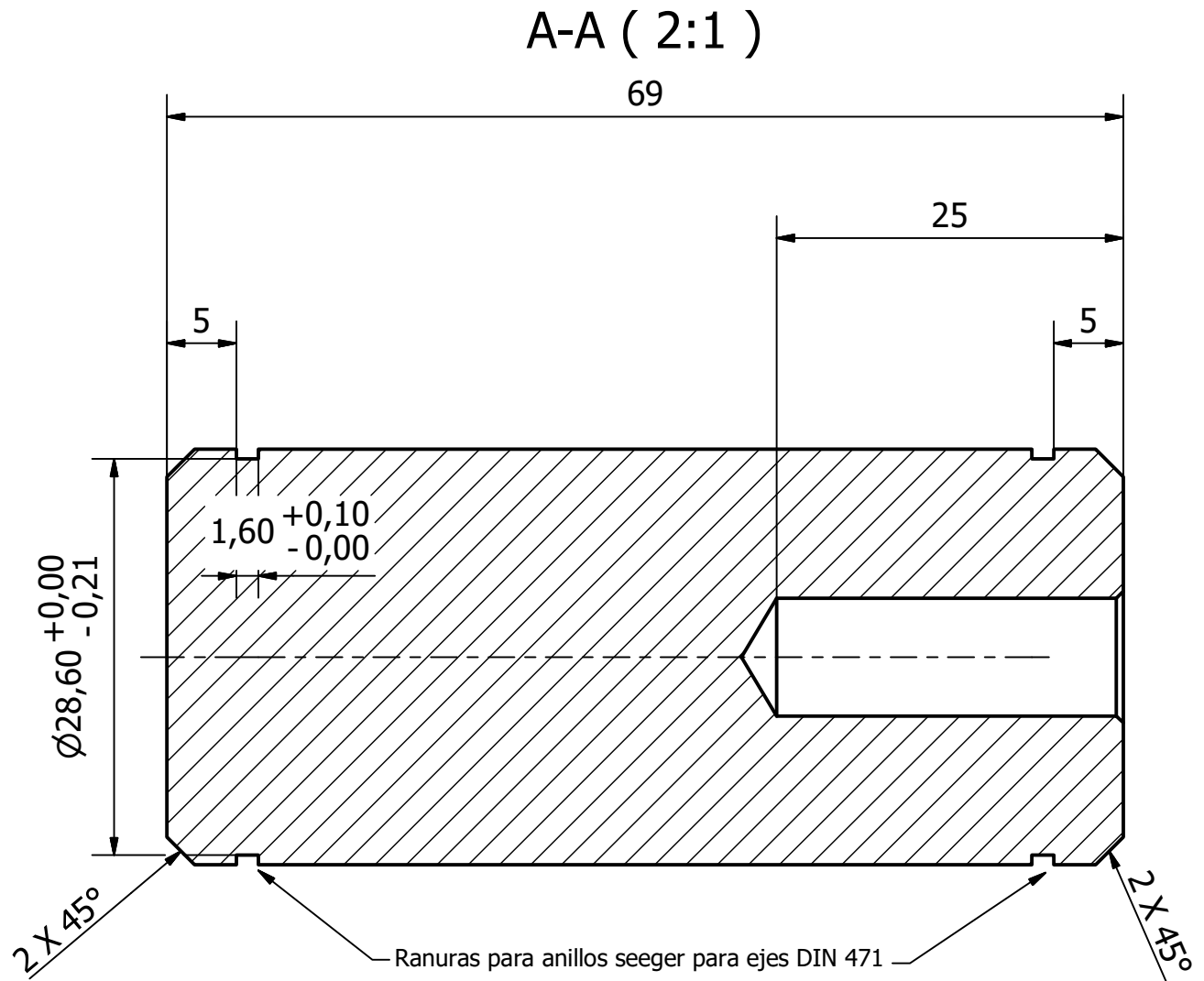
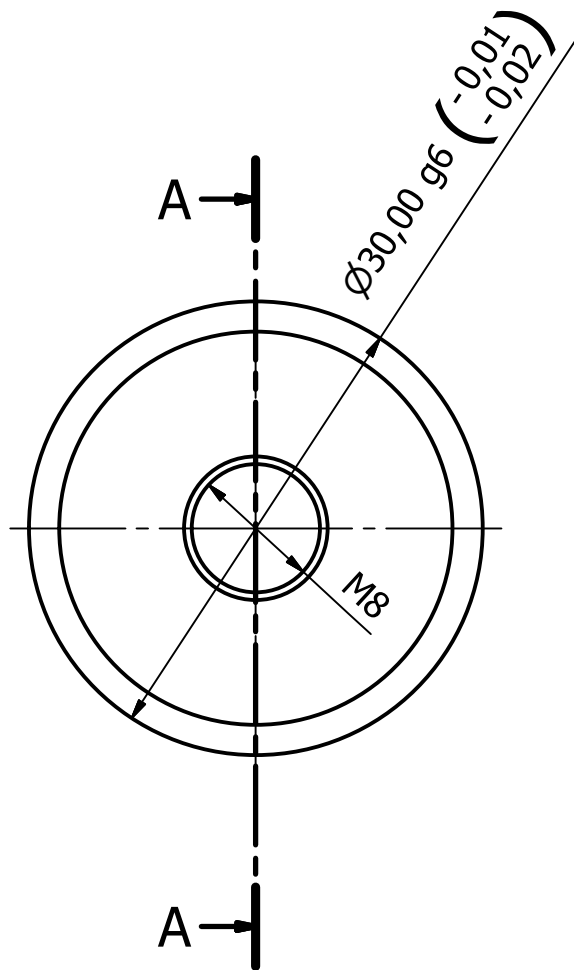
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:2
		Título CASQUILLO FIJO CILINDRO GUÍA			Material F1110	Plano 12/28
		9014_12				


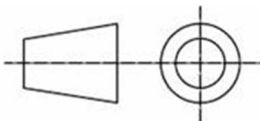


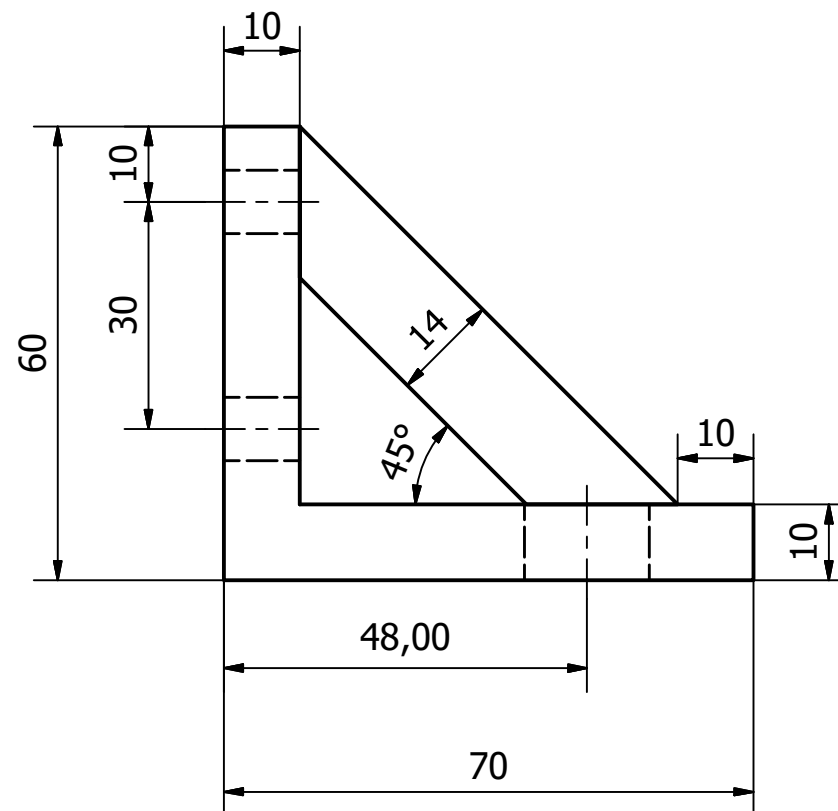
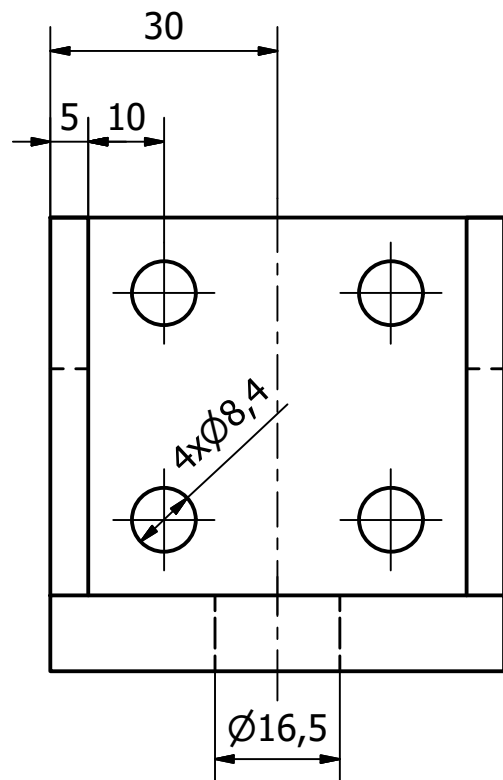


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:3
		Título BARRA UNIÓN GUIAS INFERIORES				
		9014_14			Material F1110	Plano 14/28

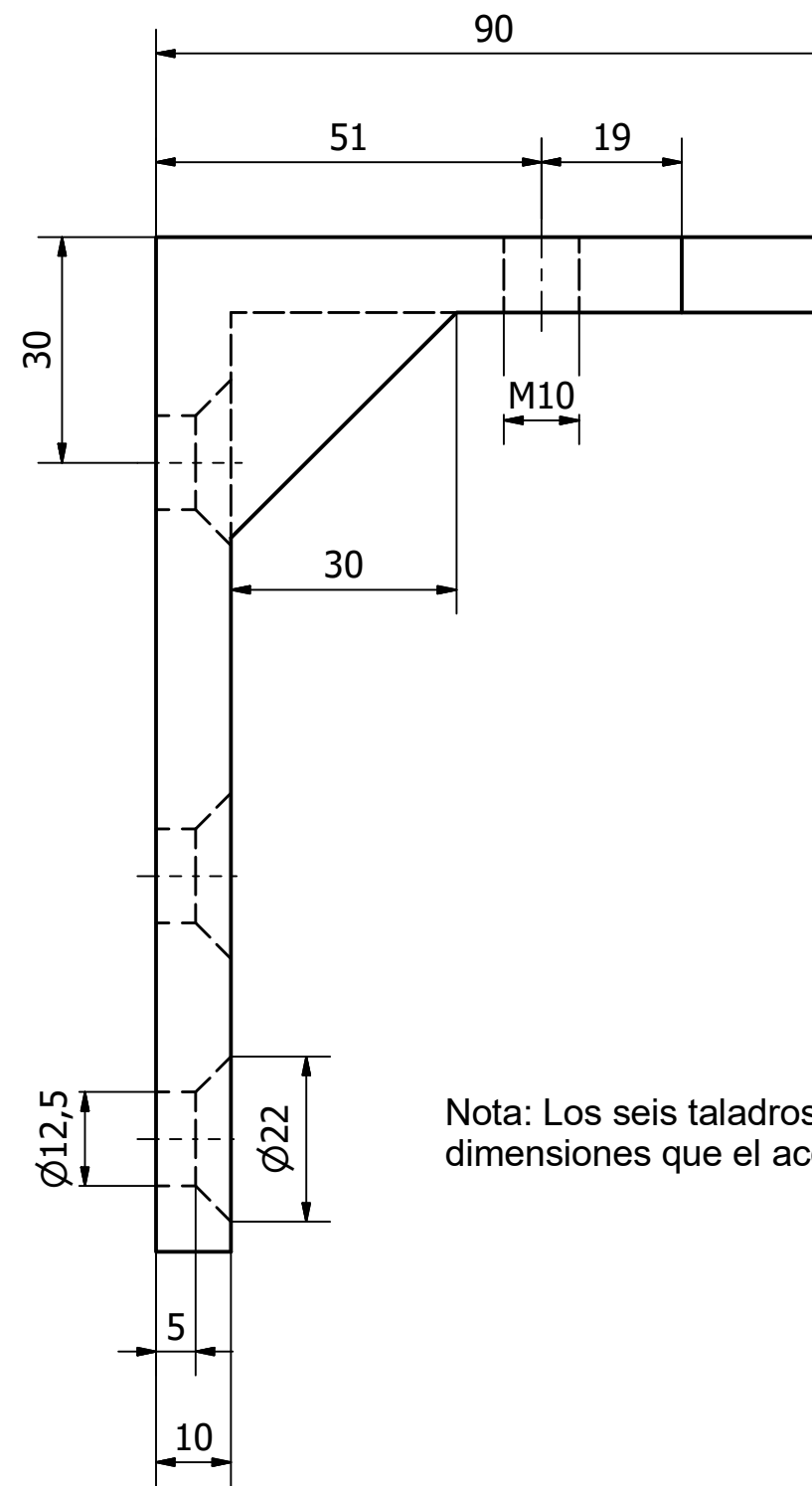
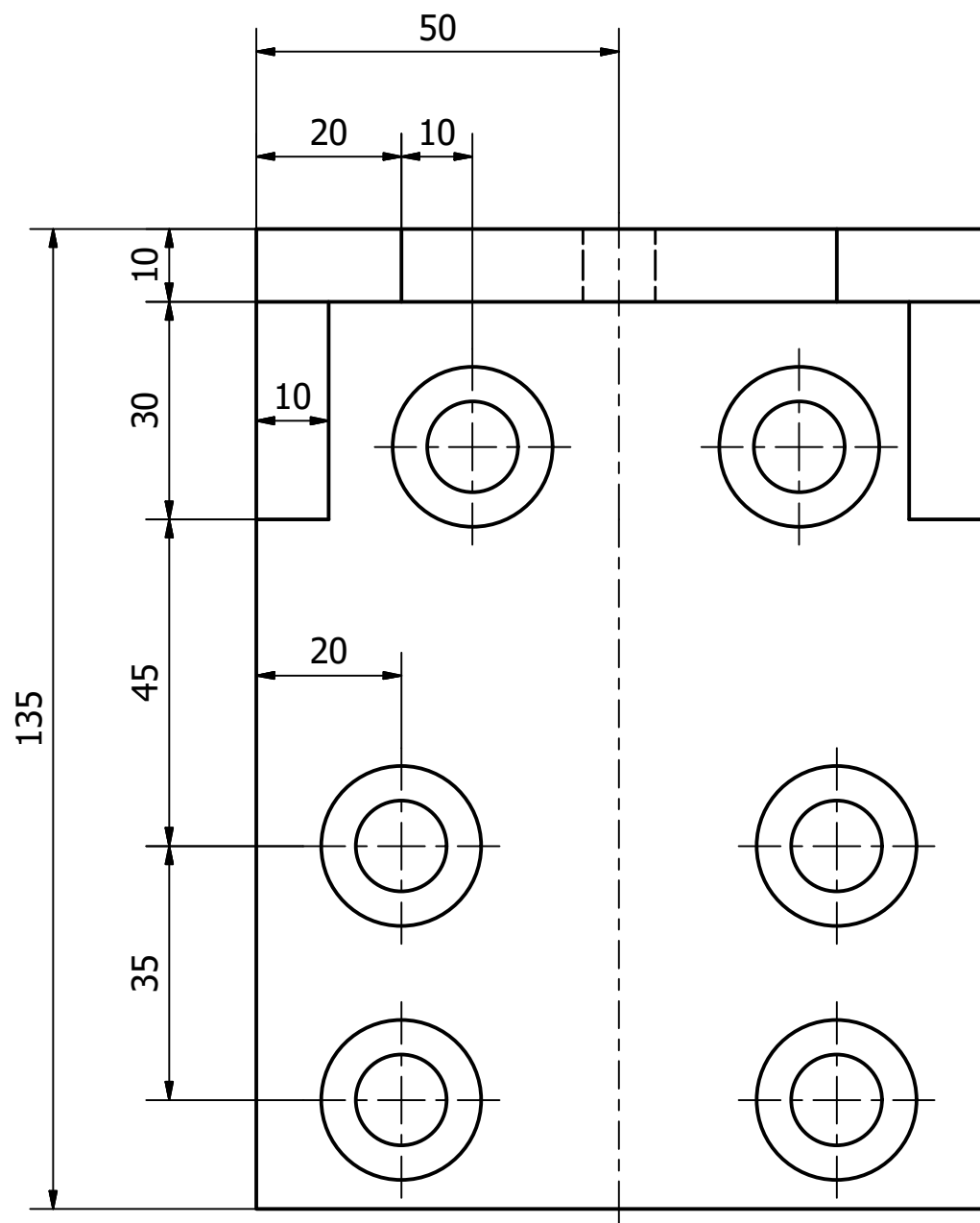




Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2014	Escala 2:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título BULÓN BIELA-MANIVELA				
		9014_15	Material F1140		Plano 15/28	

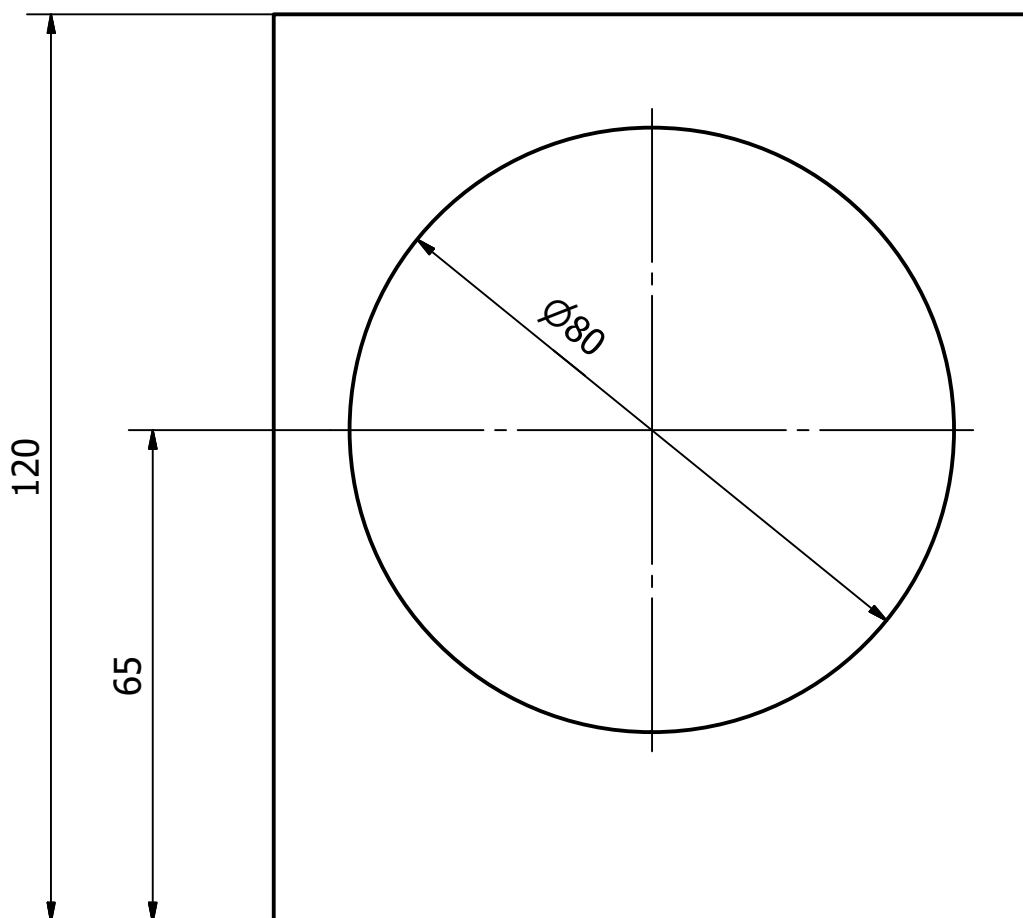
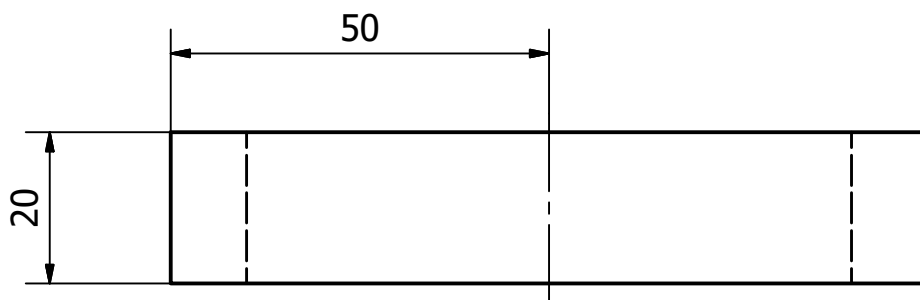



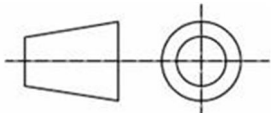
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título ACOPLE ACTUADORES INFERIORES				
		9014_16			Material F1110	Plano 16/28

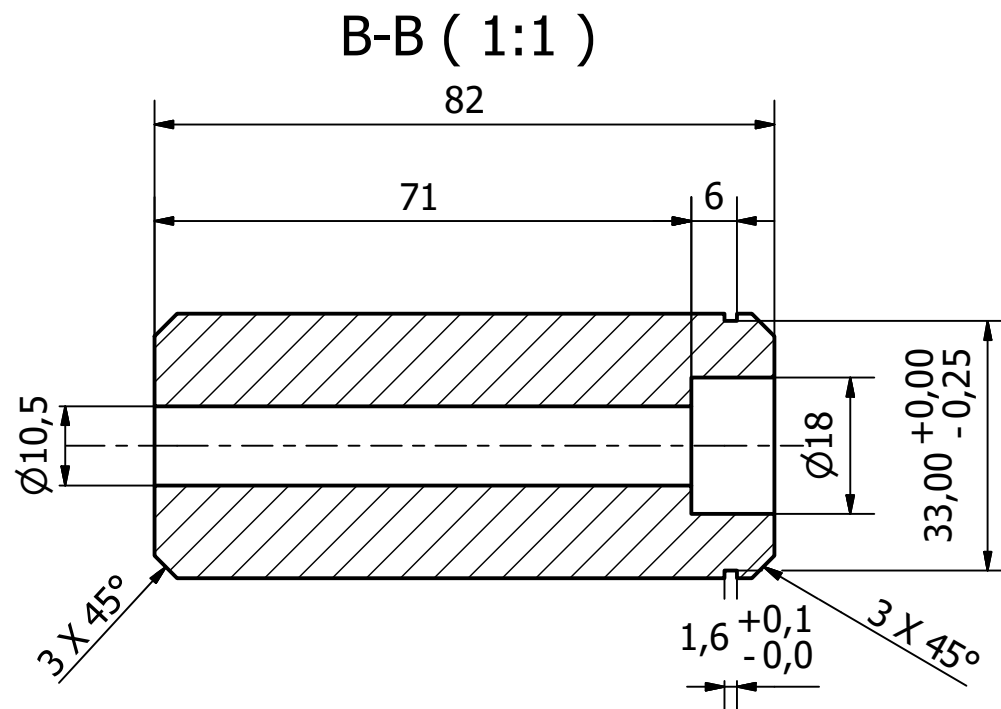
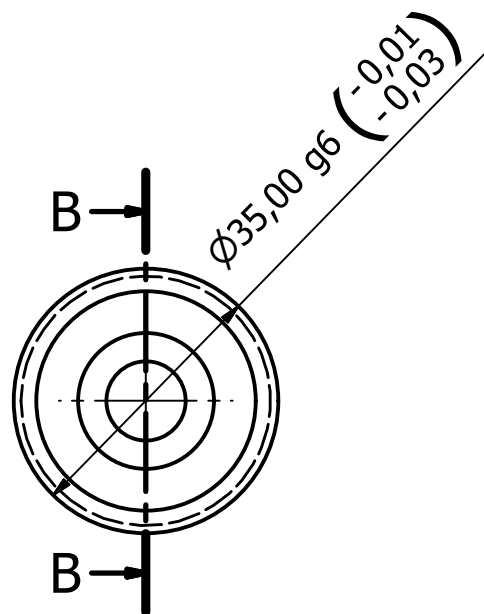



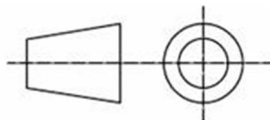
Nota: Los seis taladros son de las mismas dimensiones que el acotado

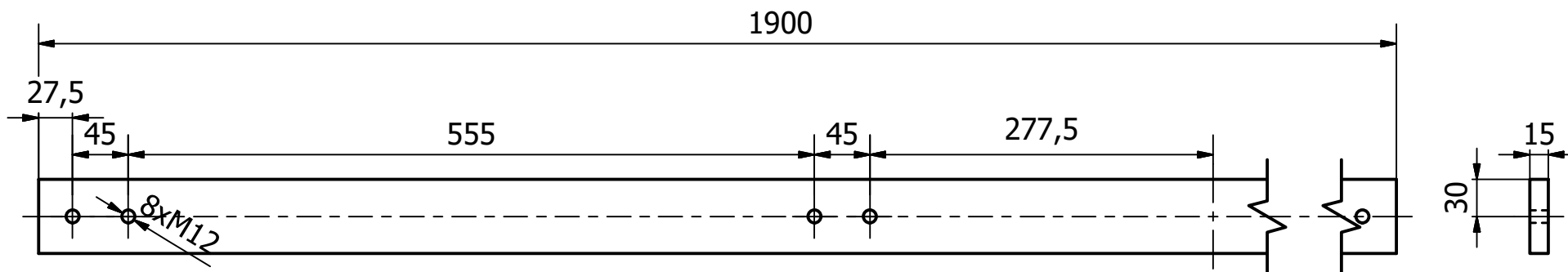
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
			Título <b>ACOPLE ACTUADORES SUPERIORES</b>			
9014_17		Material F1110		Plano 17/28		


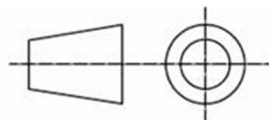


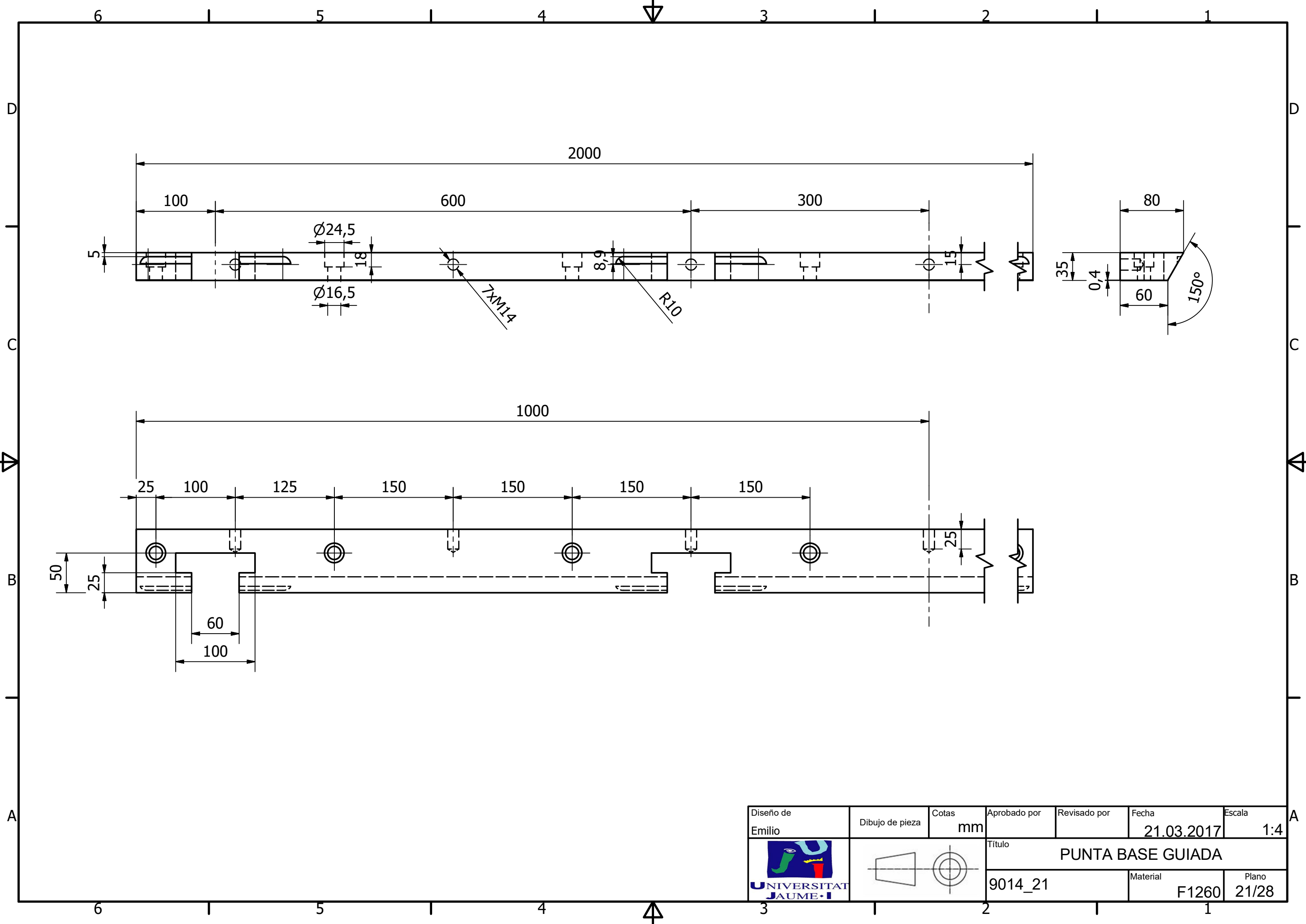
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
		Título			PLETINA CAMISA	
		9014_18			Material F1110	Plano 18/28



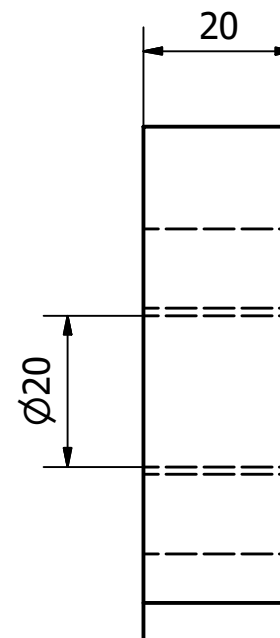
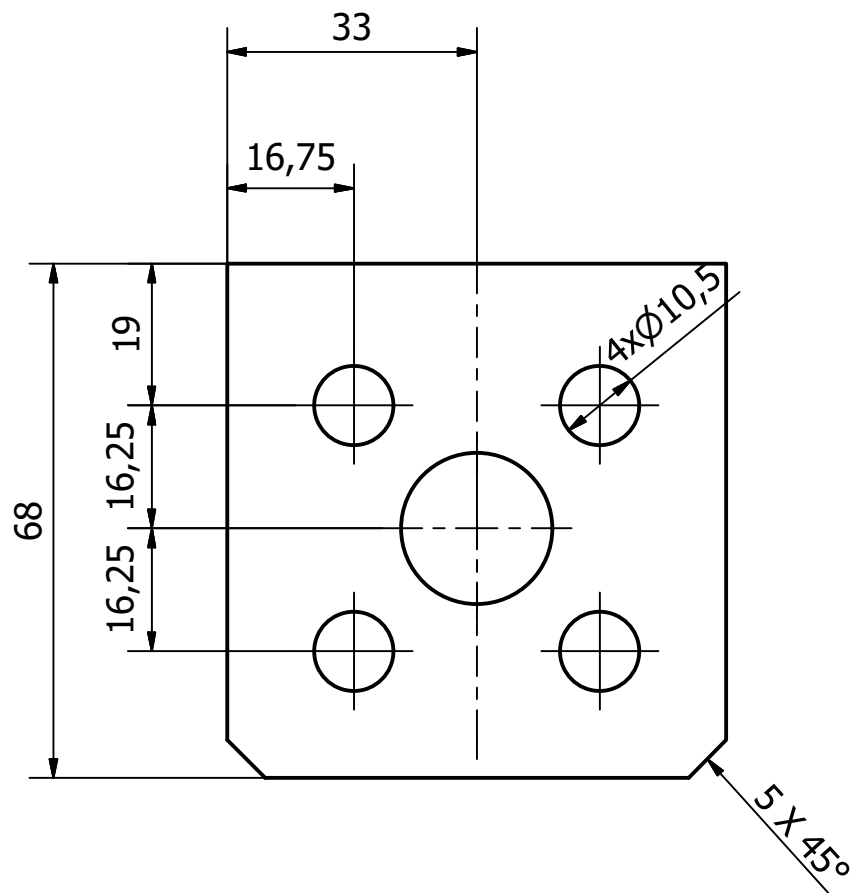
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
		Título BULÓN PISADOR BIELA			Material F1140	Plano 19/28
		9014_19				


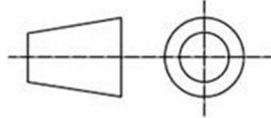


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:5
 UNIVERSITAT JAUME I		Título PLETINA UNIÓN GUÍAS SUPERIORES				
		9014_20		Material F1110	Plano 20/28	

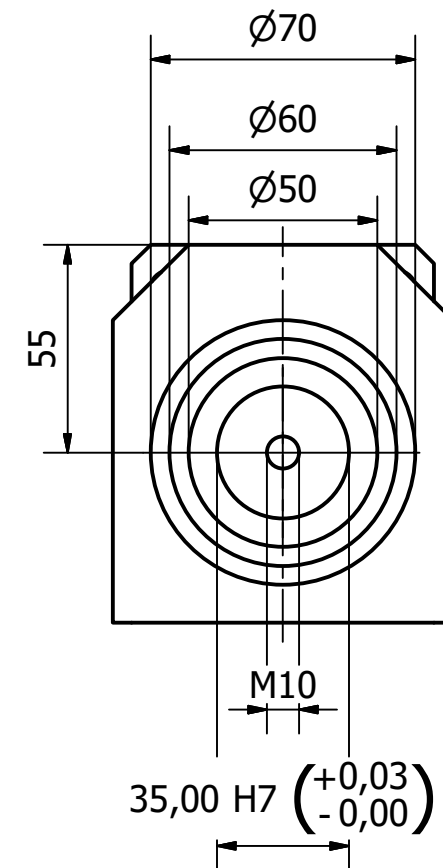
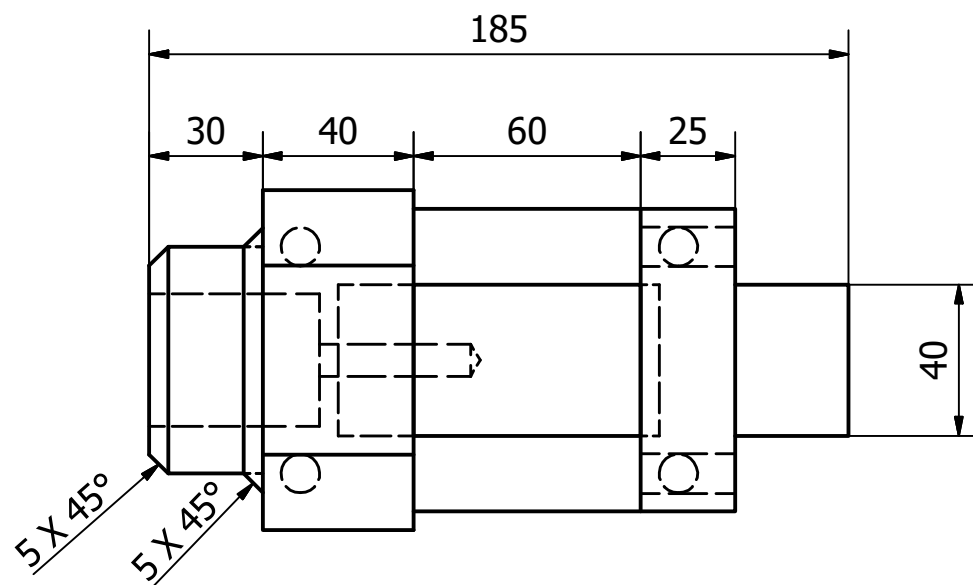
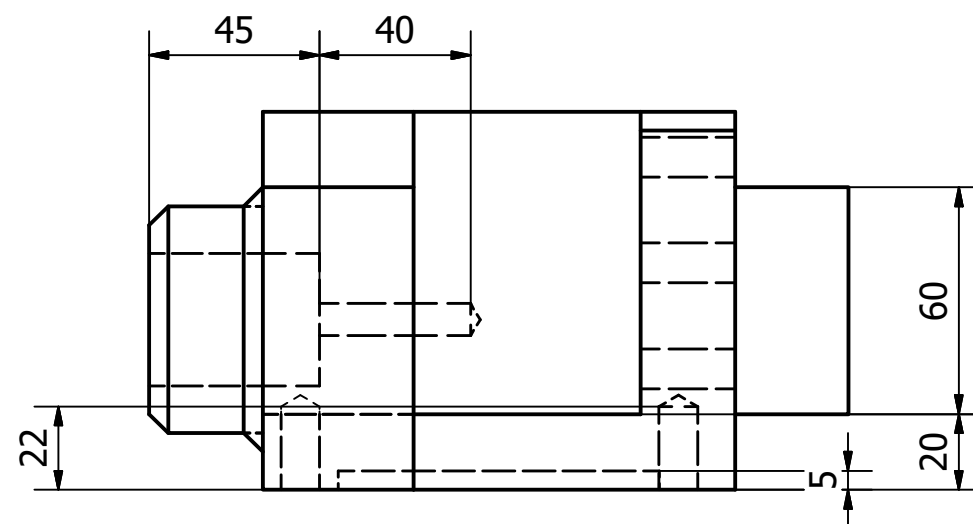
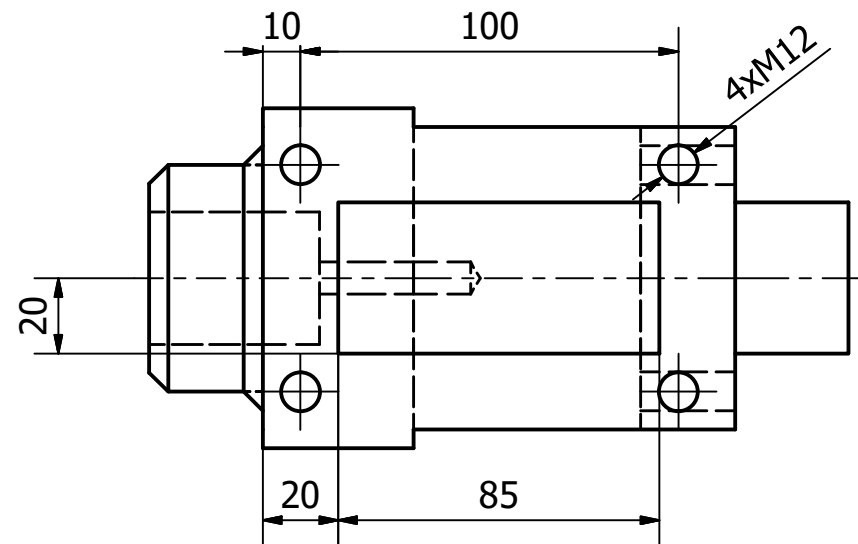
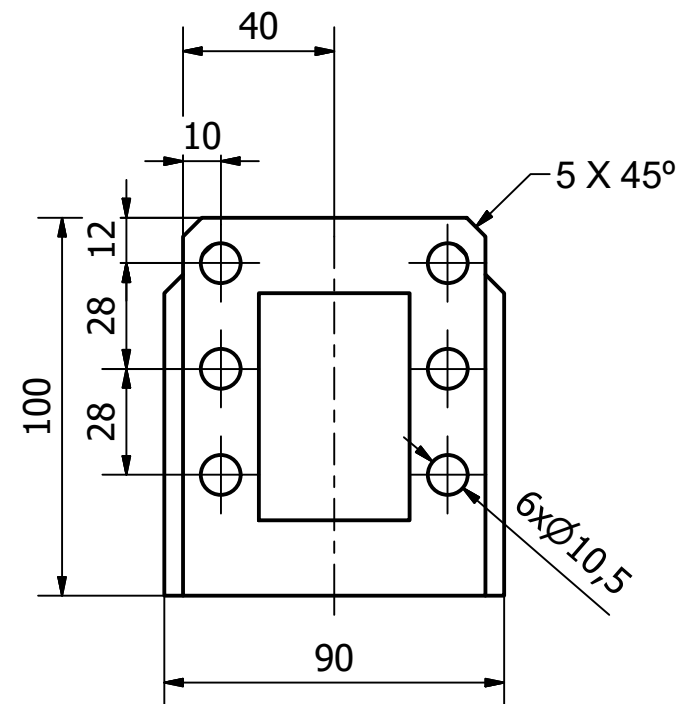


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:4
		Título PUNTA BASE GUIADA				Plano 21/28
		9014_21		Material F1260		

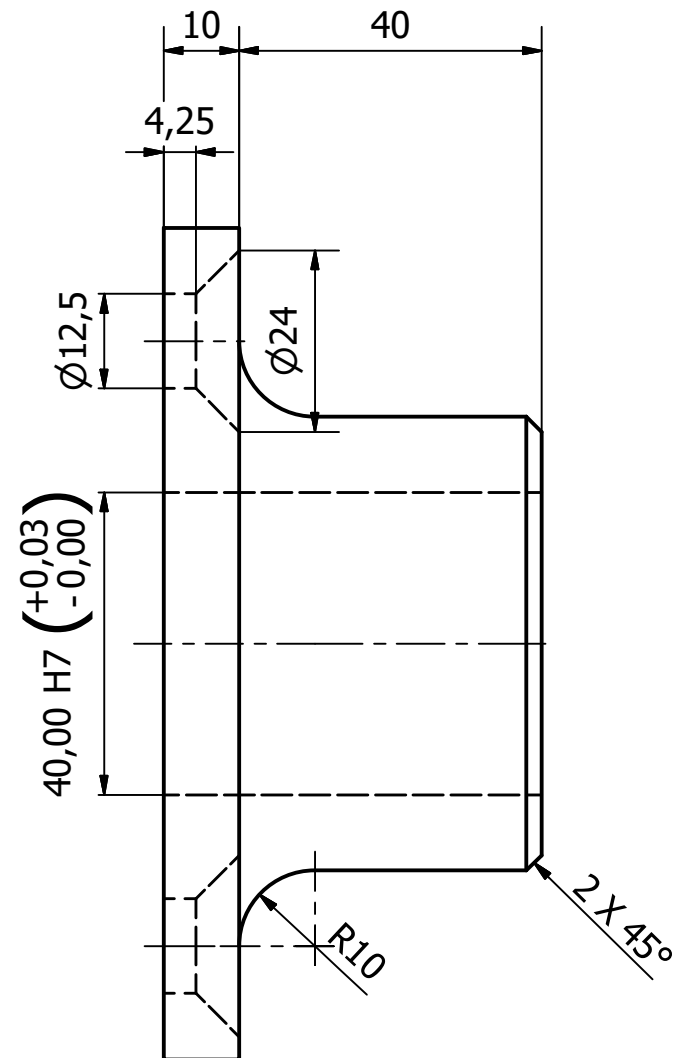
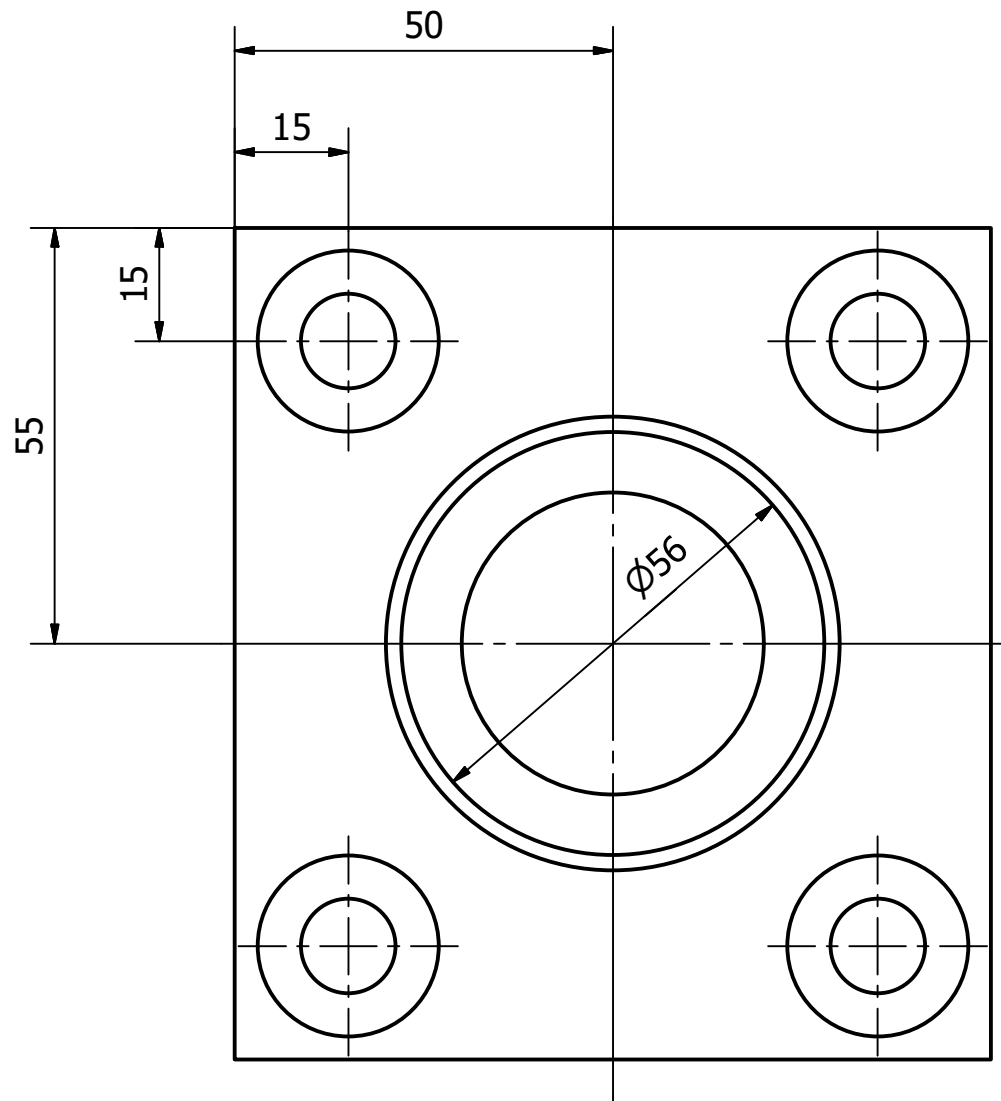



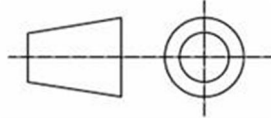
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título PLETINA ACTUADORES INFERIORES				
		9014_22			Material F1110	Plano 22/28

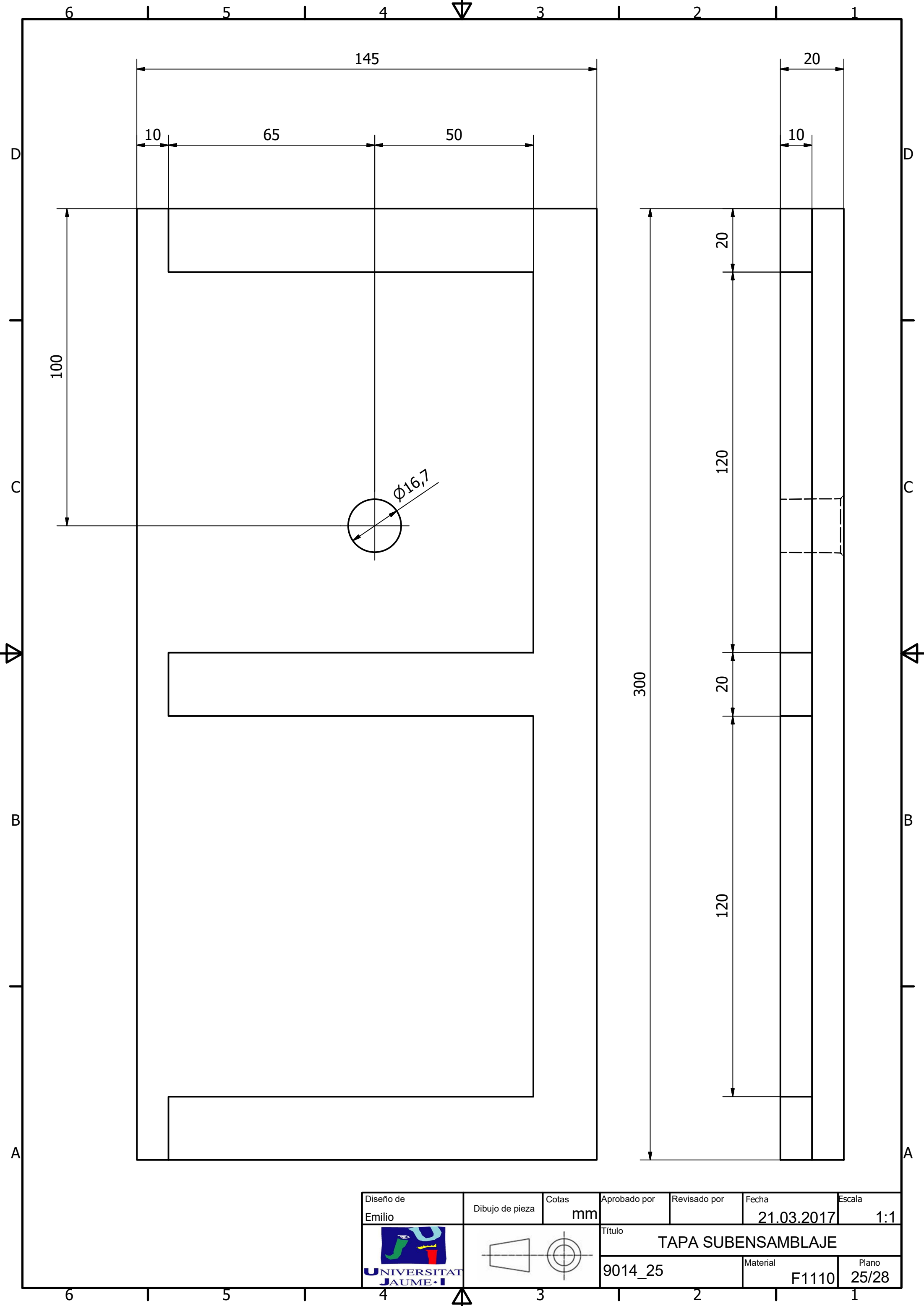



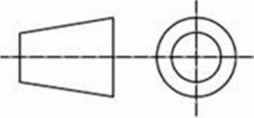


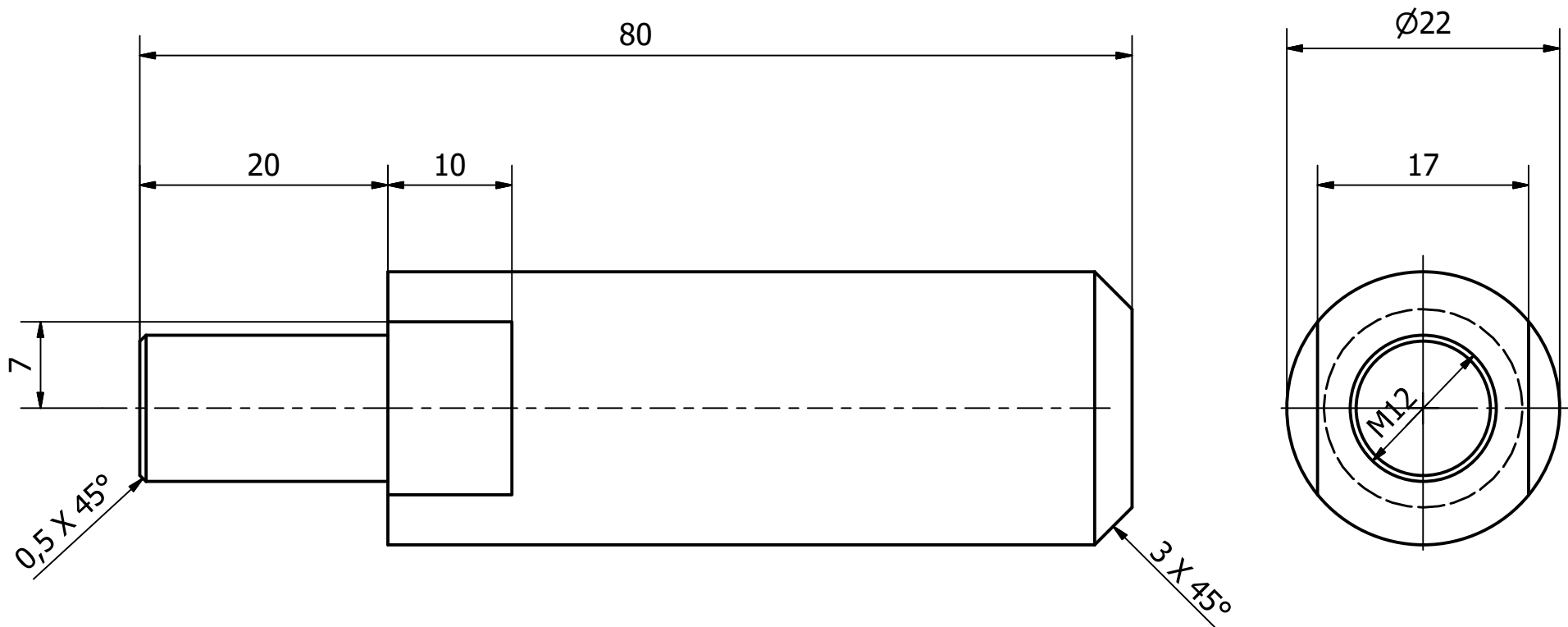
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:2
		Título UNIÓN CILINDRO GUÍA Y PISADOR			Material F1110	Plano 23/28
		9014_23				




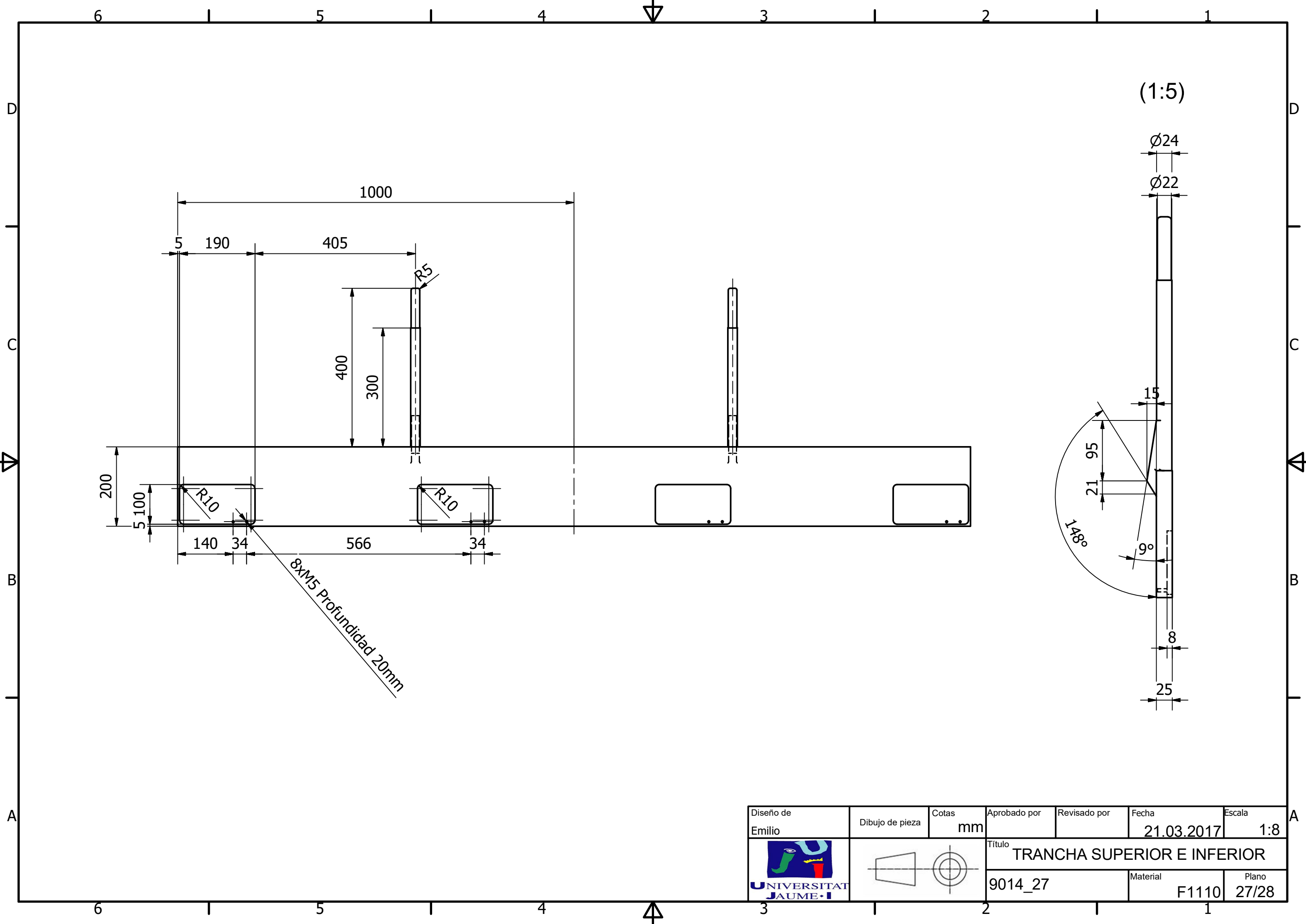
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título SUJECCIÓN PASADOR				
		9014_24			Material F1110	Plano 24/28



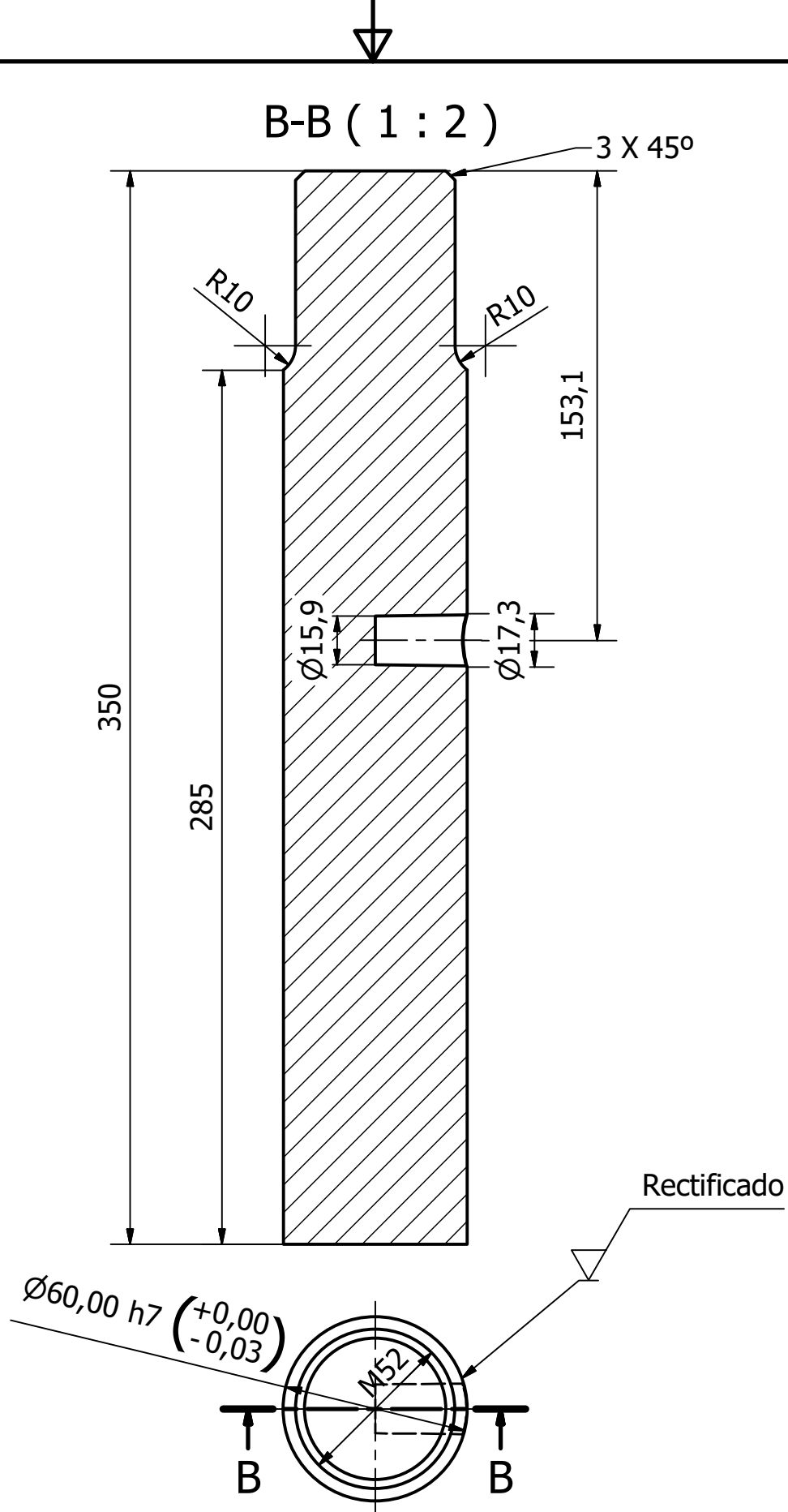
Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:1
		Título TAPA SUBENSAMBLAJE				Plano 25/28
		9014_25			Material F1110	


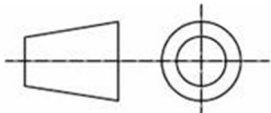


Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 2:1
 UNIVERSITAT JAUME I		Título TOPE PALANCA				
		9014_26			Material F1110	Plano 26/28



Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:8
		Título TRANCHA SUPERIOR E INFERIOR				Plano 27/28
		9014_27			Material F1110	



Diseño de Emilio	Dibujo de pieza	Cotas mm	Aprobado por	Revisado por	Fecha 21.03.2017	Escala 1:2
		Título CILINDRO GUÍA			Material F1114	Plano 28/28
		9014_28				